ISBN 978-617-8797-65-2

Міністерство освіти і науки України
Полтавський державний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механічної та електричної інженерії
Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту
Кафедра будівництва та професійної освіти
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Механіко-технологічний факультет
Кафедра сільськогосподарських машин
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка

ЗБІРНИК

ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XXVII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«Сучасні проблеми землеробської механіки»
(16-17 жовтня 2026 року),
присвяченої 126-ій річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка,
60-ій річниці інженерно-технологічного факультету ПДАУ



Полтава – 2026

ББК40.7
УДК 631.17+62-52-631.3
JEL CLASSIFICATION Q 01; D 24; P 42
З 38

Рекомендовано до друку збірник тез доповідей XXVII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» вченою радою інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету від 06 листопада 2026 року протокол № 3.

Збірник тез доповідей XXVII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (16-17 жовтня 2026 року) / МОН України, Полтавський державний аграрний університет. Полтава. 2026. 856 с.

ISBN 978-617-8797-65-2

У збірнику тез представлено анотований зміст доповідей науково-педагогічних та педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів Полтавського державного аграрного університету, провідних вітчизняних і закордонних закладів вищої, фахової передвищої освіти, наукових установ, у яких розглядаються завершені етапи наукових досліджень і розробок у галузі землеробської механіки, зокрема проблем оранки, механіко-технологічних процесів, робочих органів і машин для рослинництва та тваринництва, смарт-технологій машиновикористання, інженерного менеджменту й технічного сервісу, автомобільного транспорту, транспортних технологій і логістики, електроенергетики, електротехніки та електромеханічних систем в агропромисловому виробництві, механізації та технологій переробки сільськогосподарської продукції, а також історичних аспектів розвитку аграрної освіти і науки та сучасних підходів до професійної освіти й інженерної підготовки фахівців для агропромислового виробництва.

Організаційний комітет:

Галич О. А.	к.е.н., проф., ректор Полтавського державного аграрного університету (ПДАУ), ***голова*****.**
Аранчій В. І.	к.е.н., проф., перший проректор ПДАУ, ***співголова*****.**
Шостя А. М.	д.с.-г.н., проф., проректор з науково-педагогічної, наукової роботи ПДАУ, ***співголова*****.**
Войтюк Д. Г.	к.т.н., проф., член-кореспондент НААН України, професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП, ***співголова*****.**
Біловод О. І.	к.т.н., доц., декан інженерно-технологічного факультету ПДАУ, ***співголова*****.**
Ніколаєнко С. М.	д.пед.н., проф., академік НАПН України, академік НААН України, президент НУБіП, ***співголова*****.**

Шебанін В. С.	д.т.н., проф., академік НААН України, ректор МНАУ, ***співголова.***
Адамчук В. В.	д.т.н., проф., академік НААН України, директор ІМА АПВ НААН.
Аулін В. В.	д.т.н., проф., професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ.
Барановський В. М.	д.т.н., проф., професор кафедри інжинірингу машинобудівних технологій ТНТУ імені Івана Пулюя.
Борак К. В.	д.т.н., проф., заступник директора з навчальної роботи ЖАТФК.
Братішко В. В.	д.т.н., проф., декан механіко-технологічного факультету НУБіП.
Бредихін В. В.	д.т.н., проф., декан факультету мехатроніки та інжинірингу ДБУ.
Васильковський О.М.	к.т.н., проф., завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ
Власовець В. М.	д.т.н., проф., в.о. завідувача кафедри машинобудування ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького.
Гуменюк Ю. О.	к.т.н., доц., завідувач кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП.
Дідур В. В.	д.т.н., проф., завідувач кафедри агроінженерії УНУ.
Дробітько А. В.	д.с.-г.н., проф., проректор з наукової роботи МНАУ.
Зубко В. М.	д.т.н., проф., професор кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ.
Іванишин В. В.	д.е.н., проф., академік НААН, перший віце-президент НААН.
Іщенко Т. Д.	к.пед.н., проф., директор ДУ «НМЦВФПО».
Калетнік Г.М.	д.е.н., проф., академік НААН, ректор ВНАУ.
Канівець О. В.	к.т.н., доц., доцент кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ.
Качанова Т. В.	к.с.-г.н., доц., доцент кафедри землеробства, геодезії та землеустрою МНАУ.
Келемеш А. О.	к.т.н., доц., доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту ПДАУ.
Кірчук Р. В.	к.т.н., проф., декан факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ.
Ковалишин С. Й.	к.т.н., проф., декан факультету механіки та енергетики ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького.
Ковбаса В. П.	д.т.н., проф., професор кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ.
Козаченко Л. П.	президент Української аграрної конфедерації.
Кравчук В. І.	д.т.н., проф., академік НААН України, директор УМІ АПІ.

Кропівний В. М.	к.т.н., проф., ректор ЦНТУ.
Кульгавий В. Ф.	генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів».
Кюрчев В. М.	д.т.н., проф., член-кореспондент НААН України, радник ректора ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
Кюрчев С. В.	д.т.н., проф., ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
Лапенко Г. О.	к.т.н., доц., професор кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту ПДАУ.
Левченко Ю. В.	к.т.н., доц., доцент кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ, секретар оргкомітету конференції.
Лещенко С. М.	к.т.н., доц., декан агротехнічного факультету ЦНТУ.
Лукач В. С.	к.п.н., проф., директор ВП НУБіП «НАТІ».
Ляшенко С. В.	к.т.н., доц., завідувач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту ПДАУ.
Надикто В. Т.	д.т.н., проф., член-кореспондент НААН України, професор кафедри експлуатації та технічного сервісу машин ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
Науменко О. А.	к.т.н., проф., професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні ім. О. І. Сідашенка ДБТУ.
Панфілова А. В.	д.с.-г.н., проф., завідувач кафедри рослинництва та садово-паркового господарства МНАУ.
Попов С. В.	к.т.н., доц., завідувач кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ.
Пугач А. М.	д.н. з держ. упр., проф., декан інженерно-технологічного факультету ДДАЕУ.
Пушка О. С.	к.т.н., доц., проректор з науково-педагогічної роботи та розвитку інфраструктури, доцент УНУ.
Роговський І. Л.	д.т.н., проф., декан факультету конструювання та дизайну НУБіП.
Садовий О. С.	к.т.н., доц., декан інженерно-енергетичного факультету МНАУ.
Сайчук О. В.	д.т.н., проф., директор ХДППФК імені В. І. Вернадського.
Халін С. В.	д.е.н., доц., директор УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.
Харченко С. О.	д.т.н., доц., професор кафедри механічної та електричної інженерії ПДАУ.
Цуркан О. В.	д.т.н., проф., директор ВСП «ЛФК ВНАУ».
Черновол М. І.	д.т.н., проф., академік НААН України, радник ректора ЦНТУ.
Шейченко В. О.	д.т.н., проф., професор кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту ПДАУ.
Яропуд В. М.	д.т.н., доц., декан інженерно-технологічного факультету ВНАУ.
Яхін С. В.	к.т.н., доц., завідувач кафедри будівництва та професійної освіти ПДАУ.

Sylvester Samborsky	д.т.н проф, завідувач кафедри основ інженерії виробництва, Люблінська політехніка (Польща).
Henryk Sobczuk	д.т.н., проф., Інститут технологічних і природничих наук - Державний дослідницький інститут (Польща).
Wacław Strobel	д.т.н., проф., директор Інституту технологій і наук про життя Національного науково-дослідного інституту у Фалентах (Польща).
Andrzej Marczuk	д.т.н., проф., проректор з питань управління персоналом Природничого університету в Любліні (Польща).
Tomasz Nurek	д.т.н., проф., директор інституту механічної інженерії SGGW, (Польща).
Bogdan Dróżdż	д.т.н., проф., декан факультету машинобудування, SGGW (Польща).
Eric Veulliet	проф., президент Університету прикладних наук Вайнштефан-Триздорф (Німеччина).
Vija Melbarde	д.т.н., проф., директор департаменту Відземського університету прикладних наук (Латвія).
Virendra K. Vijay	д.т.н., проф., керівник центру Індійського технологічного інституту Делі (Індія).
Marek Różniak	президент компанії MZURI World sp. z o.o., (Польща)
Ramaswamy C. Anantheswaran	д.т.н., проф. кафедри, Пенсільванський університет (США).
Vyacheslav Adamchuk	д.т.н, проф., керівник департаменту університету McGill (Канада).
Ahmad Arabkoohsar	керівник проекту TREATY, Технічний університет Данії.

© ПДАУ, 2026

УДК 631. 3:631.17

ЕКАР – ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК ВІТЧИЗНЯНОГО АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Адамчук В. В.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Дефіцит енергії (Е) та зміна клімату (К) стали найбільш вагомими факторами, які впливають на розвиток технологій і техніки для сільського господарства. Розв'язання цих проблем можливе шляхом переведення агропромислового виробництва на високотехнологічний варіант розвитку на базі автоматизації (А) та роботизації (Р) виробничих процесів.

Світ, в якому ми живемо, постійно знаходиться в динаміці, коли на фоні загальних цивілізованих міжнародних законів співіснування держав, працює право сильнішого. Це право ніякими міжнародними нормами не обумовлено, але ним періодично користуються великі держави по відношення до більш слабких. Ми мали змогу таке спостерігати коли відбувалися військові події в Югославії, в Іраку, а зараз від цього страждає народ України. Економічною наукою доведено, що утворення, яке має більше 300 мільйонів людей, є самодостатнє з питань економічного розвитку. На жаль, Україна має обмежені як людські, так і матеріальні ресурси. Тому вона вимушена йти на союзні та блокові угоди з іншими державами. Якщо навіть звернутись до історичного досвіду, то ці проблеми мали місце ще і за часів Богдана Хмельницького.

І сьогодні Україні потрібні на цивілізованих умовах партнери як з економічних, так і з військових питань. Україна свій вибір зробила на користь Європейського Союзу. Розвиток зв'язків України з країнами Європи неможливий без наближення до європейських норм і стандартів, це процес зближення на рівні правил і законів.

Країни ЄС, виходячи з поточних проблем і враховуючи перспективи розвитку, постійно удосконалюють норми і стандарти для своїх членів і тих країн з якими вони мають дружні відносини, чим створюють суттєві проблеми для країн, які розвиваються. Тому, що останні мають на озброєнні відсталі технології, реалізація яких забезпечується з використанням таких же застарілих технічних засобів. Наприклад, введення стандартів обмежень щодо викидів двигунами внутрішнього згорання автоматично «похоронило» двигунобудування відсталих країн.

Необхідно відмітити, що причиною цих дій є більш глибокі процеси. Одним з них є те, що з кожним роком збільшується чисельність населення планети Земля. Окрім того, підвищується рівень життя у країнах третього світу. Тобто очевидними стають питання енергетичного і ресурсного дефіциту, яких з кожним роком людство потребує все більше. Доцільно відмітити, що як

населення тільки однієї країни Індія досягне такого питомого енерго-, ресурсоспоживання як це має місце на одного жителя США, то світ «накриє» енергетичний і ресурсний колапс. Для розуміння проблеми, наведу такий простий приклад: така зручна річ як цифровізація всіх сфер нашої діяльності призводить до суттєвого збільшення енергоспоживання. Зараз у світовому вимірі третина вироблюваної енергії іде на забезпечення цифрових енергосистем.

Упродовж ближчих десяти років в агропромисловому виробництві буде поступово збільшуватись частка електричної енергії як у стаціонарних виробничих процесах, так і у мобільних. Тому сьогодні можна вважати, що дослідження зі створення мобільних енергозасобів, великотоннажних причепів та сільськогосподарських машин з електроприводом ходових систем, електрифікація приводів сільськогосподарських машин є приорітетними напрямами і вимагають залучення необхідних кадрових і матеріальних ресурсів.

З приходом війни, цінність відновлюваних джерел енергії трансформувалась з більш екологічної на безпекову та економічну.

Впродовж останніх років новий рівень розвитку набуло виробництво біогазу із сільськогосподарської сировини та відходів з послідуючою його очисткою до стану біометану, який може використовуватися в Україні для промислових цілей, в тому числі для генерації електроенергії, а також побутових цілей, або на експорт. На жаль, цей напрям практично залишився поза увагою наших вчених.

В агропромисловому виробництві використовуються у великих обсягах рідкі види палив, які Україна імпортує. Враховуючи зростання цін на моторні палива та проблеми з експортом сільськогосподарської продукції, доцільно використати світовий досвід, який підтверджує ефективність переведення мобільної техніки, у тому числі і у сільському господарстві, на суміші пального мінерального походження з біопальним з послідовним переходом до стовідсоткового використання біопального. Ці наукові напрями започатковувались у багатьох наших наукових установах та закладах вищої освіти, але дослідження велись фрагментарно, тому так і не було отримано повноцінних результатів досліджень.

Доцільність використання незернової частини урожаю зернових та олійних культур для виробництва теплової енергії переконливо підтверджує досвід агропромислового виробництва як на сушінні насіння, так і на опалюванні виробничих приміщень та адміністративних будівель. Наукові питання із заготівлі незернової частини урожаю зернових та олійних культур, її транспортування, зберігання та підготовки і використання повинні бути більш широко представлені у наукових планах наукових установ та закладів вищої освіти.

Підвищення концентрації вуглекислого газу, як і інших шкідливих газів, в атмосфері Землі стало причиною глобальних екологічних змін, які призвели і до зміни клімату, головним індикатором якого є зростання середньої температури повітря на планеті. За таких умов кожна передчасна смерть у світі викликана забрудненням довкілля. У 2017 році від хвороб, викликаних забрудненням довкілля, померли 9 млн чоловік. Це в тричі більше ніж від СНІДу, туберкульозу

і малярії разом узятих і в 15 разів більше, ніж в результаті воєн та інших форм насильства.

Загальновідомо, що за період з 1950 року по 2019 рік щорічний обсяг викидів вуглекислого газу в атмосферу тільки від спалювання викопних палив збільшився більше ніж у 7 разів. Зараз він становить більше 35 млрд тонн. В загальному балансі майже три чверті викидів є наслідком споживання енергії та майже п'ята частина – від сільського господарства.

Отже на шляху розвитку людства з використанням інтенсивних технологій виник бар'єр у вигляді енерго-, ресурсного дефіциту і забруднення довкілля, що суттєво погіршує умови життя на планеті Земля. Доцільно відмітити, що людство за останніх 50 років знищило більше 200 млрд тонн кисню.

Основним джерелом утворення парникових газів у галузі рослинництва є дихання як грунту, так і рослин, спалювання рослинних решток, застосування мінеральних добрив тощо. Починаючи з 1989 року у нашій країні спостерігається майже безперервний період потепління. Впродовж цього часу середня річна температура повітря в Україні у 70 % випадків була вищою за норму. За тридцять останніх років середня річна температура на території України підвищилася на 1,2°С, а за прогнозами Українського гідрометеорологічного центру до 2030 року температура повітря підвищиться ще на 0,2-0,4°С у весняні місяці та на 0,4-0,7°С – влітку. Натомість кількість опадів у цей період зменшиться на 10-20 мм. Навесні прогнозується незначне на 5-10 мм збільшення кількості опадів, які випадатимуть у вигляді дощів зливового характеру і є непродуктивними. В таких умовах зміни клімату вологозабезпечення стало найвагомішим фактором отримання запланованої урожайності сільськогосподарських культур. Межа зони нестійкого вологозабезпечення істотно змістилась на північ.

На запаси продуктивної вологи у ґрунті суттєво впливає не лише спосіб його основного обробітку, а й позиційне розміщення в оброблюваному шарі органічної маси побічної продукції попередника, завдяки тому, що загортання побічної продукції культур сівозміни проявляє вологонакопичувальний ефект та сприяє додатковому накопиченню вологи у метровому шарі грунту (13,2–15,0 %) навіть за умов недобору третини атмосферних опадів у міжсезоння.

З огляду на наявні зміни клімату основними трендами, за якими відбуватиметься подальший розвиток систем обробітку ґрунту і створення техніки для їх реалізації, буде його мінімізація, у тому числі і відмова від переміщення шарів грунту у вертикальній площині в процесі його обробітку, а також покриття поверхні грунту рослинними залишками, що сприятиме подоланню проблем ерозії та підвищенню ефективності управління запасами вологи.

З питань сівби сільськогосподарських культур необхідно відмітити, що строки посівної кампанії звужуються, а це вимагає необхідного технологічного забезпечення для проведення сівби у якнайкоротший термін. Збільшення частоти виникнення нетипових та екстремальних погодних умов зумовлює необхідність гнучкої диференціації способів сівби для оптимізації вологозабезпечення та живлення рослин.

Якщо говорити про розвиток агропромислового виробництва в стратегічній перспективі, то необхідно рухатись у напрямі технологічного і технічного переоснащення на основі впровадження високотехнологічних процесів з використанням технічних засобів, в яких використовуються автоматизовані (**А**) і роботизовані (**Р**) системи та агрегати, які адресно створюють сприятливі умови для росту рослин та розвитку тварин, які забезпечують своєчасний збір урожаю, первинну його обробку та зберігання сільськогосподарської продукції без втрат. Тільки таким шляхом можна мінімізувати негативний вплив дефіциту енергії, робочої сили, прибрати оператора із зони з підвищеним забрудненням, досягти екологізації агропромислового виробництва та забезпечити адаптацію агротехнологій до зміни клімату.

Передові крани світу на сучасному етапі завершують переведення свого сільського господарства на високотехнологічне обладнання, створене на засадах автоматики та робототехніки, вкладаючи в це значні обсяги коштів. В той же час українське сільськогосподарське машинобудування робить тільки перші кроки у цьому напрямі. За такого відставання, вітчизняна агроінженерна наука повинна планувати і виконувати наукові дослідження у тісній співпраці з машинобудівними підприємствами, які придатні для налагодження серійного виготовлення такої техніки.

УДК 631.3.001.4:621.01

АКАДЕМІК ПЕТРО ВАСИЛЕНКО – НЕВІДОМІ СТОРІНКИ БІОГРАФІЇ

Булгаков В. М., Ружило З. В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Здавалося б, що ім’я видатного вченого України в галузі землеробської механіки, академіка Петра Мефодійовича Василенка (1900-1999) не тільки широко відомо серед величезної когорти науковців та фахівців в галузі аграрної інженерії України та світу, а й його біографія майже вичерпно висвітлена у багатьох книгах, навіть у кандидатській дисертації з історії, численних історичних статтях, матеріалах конференцій тощо. Навіть власноруч написані спогади академіка, які вперше побачили світ у 2012 році, а потім були перевидані у 2015 році не повинні були залишати невідомих широкому загалу читачів достовірних подій в його біографії. Однак, більш прискіпливий погляд на життя та діяльність цього видатного вченого викликає не тільки надзвичайний інтерес до його біографії, а й подальшу потребу пошуку відповіді та доказів, щодо об’єктивного висвітлення подій його життя, вагомої науково-педагогічної роботи і досягнутих видатних успіхів.

На шляху до здійснення вказаної мети несподівано відкрилася така обставина, що окремі сторінки істинної біографії вченого ще далеко не вивчені та не відображені, на даний час, у історичних дослідженнях, які можна було б вважати достовірними та вичерпними. А саме такі подальші дослідження біографії вченого вимагають підтвердження здавалося б відомих та очевидних фактів, але на підставі обов'язкового використання архівного матеріалу, чого на жаль в публікаціях останнього часу зовсім не прослідковується. Однак, звичайне використання архівних та історичних документів ніяким чином не позбавляє необхідності проводити наукові дослідження з використанням глибокого системного аналізу, обґрунтованого співставлення фактів, формування логічних і послідовних висновків, які випливають внаслідок цього і, звичайно ж, повного розуміння саме того, що є предметом даного конкретного питання, яке й підлягає цьому історичному дослідженню.

Так, першою найменш дослідженою сторінкою в біографії академіка Василенка П. М. є отримання ним вищої освіти, на підставі використання начебто достовірної інформації про його навчання у Луганському (в інших надрукованих виданнях Ворошиловградському) сільськогосподарському інституті. Якщо розглядати це питання прискіпливо й неупереджено, то навчання (у будь якому навчальному закладі) це, насамперед зарахування студентом (або учнем), далі слухання лекцій, відвідування та участь у проведенні лабораторно-практичних занять, написання курсових, або, як казали раніше, спеціальних та дипломних проєктів, участь у навчальних практиках, стажування під час навчання на реальному виробництві тощо. І це повинно відбуватись весь термін навчання, принаймні у вишах, це виключно 4 або 5 років. Але усього цього у майбутнього академіка відносно Луганського сільськогосподарського інституту зовсім не було. Навіть фізично у м. Луганськ, він ніколи саме у ті часи не був і поїхав туди вперше вже у дуже зрілому віці і зовсім з інших справ. Остаточна достовірна та вичерпна інформація у цьому питанні залишається такою, що вищу освіту Василенко П. М. отримав у Вищому навчальному закладі вузької спеціалізації – Мигійському Сільськогосподарському і Кооперативному технікумі. Навчання за програмою вищої освіти здійснювалось тут протягом 4 років (3 роки теоретичного навчання та ще одного року обов'язкової виробничої практики), що дало змогу Василенко П. М. восени 1924 р. одержати диплом агронома-рільника. Дипломованих агрономів випускали у ті часи тільки вищі навчальні заклади України. І він такий диплом мав.

Однак, сторінки біографії вченого, відносно цього питання, містять інформацію на підставі архівних документів, які свідчать про начебто здобуття ним вищої освіти в Луганську. Але диплома про навчання тут, про отриману вищу освіту немає, а є тільки довідка. Зі слів самого академіка він у 1932 році надіслав поштою свій «технікумівський диплом» (з його слів дуже красивого вигляду) у Луганськ і зворотно, також поштою, звідти отримав папірець з

печаткою, тобто звичайну довідку про начебто навчання тут, якого насправді не було. Головним у ті часи було те, що у довідці було використане слово «Інститут»! Отакими були ті часи в нашій історії.

Другою невідомою сторінкою в біографії академіка Василенка П. М. залишався факт його перебування на окупованій німцями території під час німецько-радянської війни 1941-1945 рр. Тут також, факт перебування вченого з родиною на окупованій території начебто був доволі відомим, але у багатьох публікаціях різних авторів він зазвичай не висвітлювався. Але після того як особисті спогади самого вченого стали надбанням широкої наукової спільноти, факти життя в окупації стали більш відомими і для багатьох доволі несподіваними. Так, ще донедавна вважалося, що лихі воєнні роки у біографії академіка вичерпувались винятково цією короткою інформацією: перебування на окупованій території в Чернігівській області у селі Сиволож під час евакуації (розбомблений ешелон, оточення німців), життя з родиною майже під чужим ім'ям (документи були надійно сховані) неподалік від залізниці, тяжка ручна праця на землі заради виживання, звільнення території і поступове повернення додому у Київ. Однак, насправді дещо було не так. В якийсь момент цього дуже складного життя, залишаючи в селі родину (дружину і трьох фактично малолітніх дітей) він виїжджав на деякий час до Києва «щоб встановити свій статус» – *пряма мова*. Однак, вивчення архівних матеріалів показує, що насправді події того часу відбувались ще більш несподівано й інакше. Варто навести інформацію, яка міститься у власноруч написаній Василенком П. М. «Автобіографії», яка торкається його перебування в селі на окупованій німцями території з серпня 1941 року майже до початку 1942 року: «…Протягом цього періоду я піддавався висілці із села, отримавши розпорядження вибути із села на колишнє місце роботи. Інакше не тільки мені, а й усій моїй родині загрожує знищення, якому вже було піддано кілька родин у селі. Не бажаючи наражати на таку небезпеку сім'ю я виїхав до Києва, залишивши сім'ю в селі. У Києві почав було працювати Агроінститут (в будівлі Хіміко-технологічного інституту на Солом'янці). Тут я почав було читати теорію та розрахунок с.-г. машин. Але через тижнів два (у жовтні місяці 1942 р.) цей курс було ліквідовано. Я скористався цією нагодою і знову повернувся до села Сиволож (листопад місяць 1942 р.)…». (*мова оригіналу*). І далі: «У лютому місяці 1943 р. я був підданий допиту з боку поліції села про причину свого повернення і змушений був вдруге вибути з села до Києва, знову залишивши сім'ю в селі. У Києві я мав продовжувати роботу в Агроінституті, але лекцій у цей час не було. Тим часом я запасся довідкою німецькою мовою, що я такий то, працюю там то, пішов у відпустку і пересуваюся до села Сиволож Комарівського району Чернігівської області. Таку довідку, хоч і писану від руки, але з печаткою, приготував мені В. П. Куликовський. Оскільки через міст з такою довідкою піти з Києва не можна було (для цього необхідно було мати перепустку), то я пішов з Києва через лід

(через Труханів острів в обхід Слобідки). На випадок того, що я в дорозі можу загинути про свій відхід на схід, я посвятив А. Т. Писаренка, щоб він у цьому випадку повідомив сім'ю. Вдень я йшов, а вночі ховався (першу ніч провів під Семиполками в якомусь саду, другу ніч за Козельцем у крайній хаті за селом, а третю в лісі не доходячи до с. Мрин), бо моя довідка могла бути пред'явлена лише для малограмотних і справді зіграла свою роль у с. Питюти, де я змушений був пред'явити свою довідку малограмотному угорцю. На початку березня 1943 р. я прийшов у село Сиволож до своєї родини. До села я зайшов уночі. Оскільки мені загрожувала знову висилка, то з цього часу я змушений був ховатися, і тільки в травні місяці, коли мені потрібно було думати, як мені далі утримувати сім'ю, чим її прогодувати (адже для цього потрібно обробити город), я вийшов зі свого укриття, заявивши, що я приїхав на літо у відпустку.» (*мова оригіналу*)». Безумовно, що ніякого криміналу, або ніякого зв'язку та ніякої співпраці з німцями Петра Мефодійовича не було й не могло бути. Не за власним бажанням він двічі відвідував Київ наражаючи себе на страшну небезпеку, а змушений був це робити за наказом. І, якщо він, як звичайний викладач, прочитав декілька лекцій для студентів, причому ні на німецькій, а а українській мові, для юнаків, які були українцями і які не змогли евакуюватись (як і він сам), і яким не було куди діватися в ці надважкі роки, то за великим рахунком це й був, з його боку, виключно вимушений захід. Захід, який був багаторазово пов'язаний зі смертельною небезпекою саме для нього і його родини. Подолання відстані від села до столиці, а це 170 кілометрів пішки (фактично 4 рази ця відстань була ним подоланою), перехід річки Дніпро по льоду, зустрічі з німцями у дорозі, які могли знищити дуже швидко, навіть не питаючи хто він, постійний голод, ночівлі в лісі тощо. Жорстка боротьба за виживання, але ж не через зраду та протиправні дії.

Тим більш, що ще у грудні 1944 року йому (також був офіційний запит з НКВС) була видана довідка, яка офіційно засвідчує про повну відсутність його зв'язків, співпраці, а також хоча б якоїсь допомоги окупаційній німецькій владі за місцем проживання в той період свого життя. Варто навести зміст цієї довідки.

«Довідка видана Василенко Петру Мефодійовичу в тому, що він дійсно проживав з своєю сім'єю в селі Сиволож Комарівського району Чернігівської області з вересня місяця 1941 року по січень місяць 1944 року. Під час окупації т. Василенко працював в колгоспі «Червоний лан» на різних сільськогосподарських роботах. Зв'язку з німцями як він так і його сім'я не мали і допомогу не оказували, що й свідчиться.» (*мова оригіналу*). Від виконавчого Комітету Сіволожської сільської ради підписали Голова та секретар 6 грудня 1944 року. Довідка № 1-2.

Тобто, відверто кажучи, зараз (через 84 роки) є всі підстави суворо не засуджувати зазначені дії Петра Мефодійовича у такий дуже складний і дуже важкий період його життя. Найголовнішим є те, що він під час цієї страшної

кровопролитної війни залишився живим (і після неї не потрапив у застінки НКВС, з яких майже ніхто вже не повертався), начебто доля його оберігала, надаючи сили на довгі роки життя для подальшої видатної наукової та педагогічної діяльності, яка згодом буде визнана як в нашій державі, так і у світі.

І третім, теж головним і не менш цікавим фактом біографії вченого є доволі спірне питання, пов'язане з тим, а де і на яких посадах працював академік Василенко П. М. після війни. У багатьох надрукованих працях, присвячених вченому, майже всюди зазначалось, що він починаючи з квітня 1944 року після повернення у Київ обіймав посаду (основну, штатну) завідувача кафедри сільськогосподарських машин Київського сільськогосподарського інституту, а вже за сумісництвом працював в установах Академії наук УРСР. Але архівні документи свідчать, що все було як раз навпаки, що саме з серпня 1944 року він був штатним науковим співробітником Лабораторії машинобудівництва та проблем сільськогосподарської механіки, обіймаючи посаду Завідувача відділом сільськогосподарського машинобудування (згодом вказана Лабораторія була перетворена на «Інститут машинознавства та сільськогосподарської механіки АН УРСР»). Як свідчать архівні документи, його трудова книжка знаходилась у відділі кадрів АН УРСР, а завідувачем кафедрою він був за сумісництвом. Отже, виходить так, що він виконував функції завідувача кафедрою сільськогосподарських машин у Київському сільськогосподарському інституті (згодом це Українська сільськогосподарська академія) майже на громадських засадах. І це не фігура речі, оскільки у воєнні та у повоєнні часи трудова дисципліна була вкрай суворою, то, скоріш за все, ні про яке одночасне та офіційне завідування учбовою кафедрою сільськогосподарських машин у КСГІ чл.-кор. АН УРСР Василенком П. М. мови йти не може. Він повинен був, як і всі інші науковці Академії наук України, повний робочий день працювати у стінах Інституту. Але все ж таки, дещо пізніше, працювати за сумісництвом на посаді професора кафедри сільськогосподарських машин у Київському сільськогосподарському інституті йому керівництво АН УРСР дозволяло, на чверть, або на пів-ставки. І так було аж до 1957 року, коли він остаточно припинив працювати в системі Академії наук і повністю перейшов на штатну посаду, спочатку в Українську академію сільськогосподарських наук (як академік-секретар Відділення механізації та електрифікації створеної урядом у грудні 1956 році Української академії сільськогосподарських наук – штатна посада), згодом після закриття цієї академії наук у травні 1962 році взагалі пішов на пенсію і працював багато років вже як професор-консультант кафедри сільськогосподарських машин Української сільськогосподарської академії. Але ця сторінка біографії видатного вченого України потребує ще додаткового ретельного дослідження. Наступне історичне дослідження має торкатися кількісного складу наукової школи академіка Василенка П. М.

УДК 621.52-233.2:620.17

ТЕОРІЯ РУХУ БУЛЬБИ КАРТОПЛІ ПО ОЧИСНИМ СПІРАЛЯМ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА РЕШТОК

Ружило З. В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Підвищення ефективності збирання картоплі значною мірою залежить від якості очищення бульб від ґрунту, грудок землі, рослинних решток та інших домішок. Одним із перспективних напрямів удосконалення технологічного процесу є використання спіральних вібраційних сепараторів, робочі органи яких забезпечують одночасне транспортування бульб і відокремлення домішок. Для підвищення ефективності роботи такого обладнання необхідно дослідити закономірності руху бульби по очисних спіралях та визначити вплив конструктивних і кінематичних параметрів на процес сепарації.

Для побудови розрахункової математичної моделі переміщення бульби картоплі по робочій поверхні спірального сепаратора представимо бульбу картоплі у вигляді кулі, що має масу m і радіус r_b. Схематична модель буде побудована на основі аналізу різних режимів відносного руху окремої бульби картоплі, тобто матеріальної точки, на поверхні спірального сепаратора.

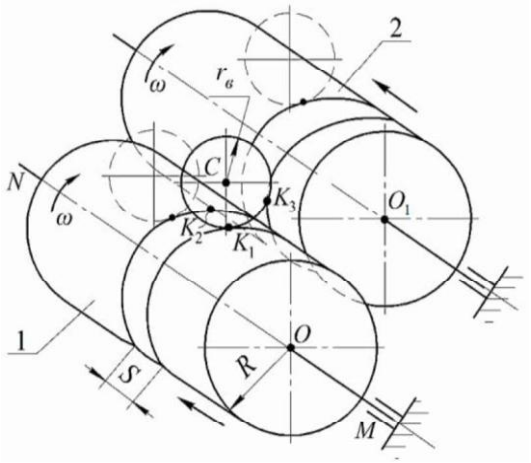


Рис. 1. Схематична модель відносного руху бульб картоплі на поверхні спірального сепаратора

Спочатку бульба картоплі потрапляє на поверхню спіральної навивки. Спіральна навивка своєю гвинтовою лінією починає залучати бульбу картоплі в спільний рух, тобто в обертальний рух разом із самою спіральною навивкою та поступальний рух в осьовому напрямку спіралі, тобто в напрямку її навивки.

Однак у результаті дії сили тяжіння на бульбу картоплі та обертання спіралі бульба картоплі досягне жолоба між сусідніми спіралями 1 і 2. Отже, основне просування бульби картоплі вздовж осі *MN* може відбуватися лише тоді, коли бульба перебуває в жолобі, утвореному двома сусідніми спіралями 1 і 2 і детальний аналіз транспортування бульб картоплі розглядаємо саме в тому

випадку, коли бульба потрапила в жолоб, утворений двома сусідніми спіралями 1 і 2 сепаратора.

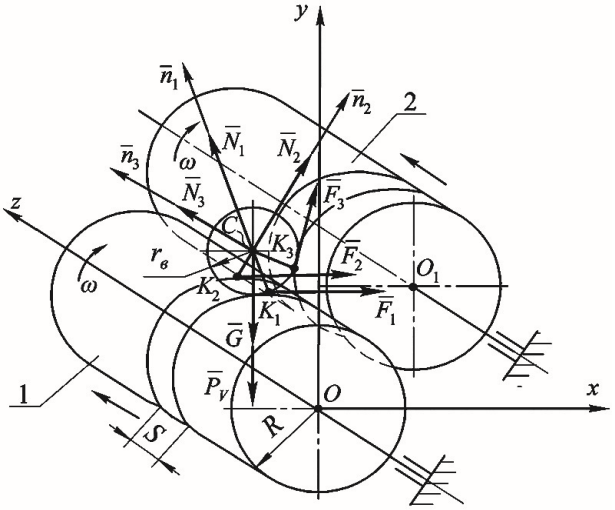


Рис. 2. Еквівалентна схема взаємодії бульби картоплі з очисними спіралями сепаратора

F_1, F_2 і F_3 — сили тертя, що виникають при проковзуванні витків спіралей 1 і 2 по поверхні бульби картоплі в точках контакту *K_1, K_2 і K_3* відповідно.

G – сила ваги бульби картоплі, як відомо, визначається з такого виразу:

P_V — сила активної дії подаваної картопляної купи на спіральний сепаратор, Н.

Рівняння руху бульби картоплі у векторній формі на підставі отриманої еквівалентної схеми буде мати вид:

$$m\bar{a} = \bar{G} + \bar{N}_1 + \bar{N}_2 + \bar{N}_3 + \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + F_3 + \bar{P}_V \qquad (1)$$

У проекціях на осі нерухомої декартової системи координат *xOyz* вектор з рівняння (1.) набуває вигляду:

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{x} &= N_1\cos\left(\widehat{x,\bar{n}_1}\right) + N_2\cos\left(\widehat{x,\bar{n}_2}\right) + N_3\cos\left(\widehat{x,\bar{n}_3}\right) - \\ &\quad -F_1\cos\left(\widehat{x,\bar{V}_1}\right) - F_2\cos\left(\widehat{x,\bar{V}_2}\right) - F_3\cos\left(\widehat{x,\bar{V}_3}\right), \\ m\ddot{y} &= N_1\cos\left(\widehat{y,\bar{n}_1}\right) + N_2\cos\left(\widehat{y,\bar{n}_2}\right) + N_3\cos\left(\widehat{y,\bar{n}_3}\right) - \\ &\quad -F_1\cos\left(\widehat{y,\bar{V}_1}\right) - F_2\cos\left(\widehat{y,\bar{V}_2}\right) - F_3\cos\left(\widehat{y,\bar{V}_3}\right) - G - P_V, \\ m\ddot{z} &= N_1\cos\left(\widehat{z,\bar{n}_1}\right) + N_2\cos\left(\widehat{z,\bar{n}_2}\right) - N_3\cos\left(\widehat{z,\bar{n}_3}\right) - \\ &\quad -F_1\cos\left(\widehat{z,\bar{V}_1}\right) - F_2\cos\left(\widehat{y,\bar{V}_2}\right) - F_3\cos\left(\widehat{z,\bar{V}_3}\right), \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Визначаючи напрямні косинуси кутів, що входять у рівняння (2), між осями системи координат *xOyz* і напрямком нормалей до поверхні витків у точках *K_1, K_2 і K_3* контакту бульби з витками спіралей 1 і 2 шляхом диференціювання рівнянь обмеження, та заміною у отриманих виразах змінні *x*, *y* та *z* на їхні параметричні вирази отримаємо систему диференціальних рівнянь, яка описує рух бульби картоплі під дією обертових витків спіралей в абсолютній системі координат *xOyz*, коли бульба перебуває в жолобі між сусідніми спіралями.

$$\left.\begin{aligned}
&\left(N_1+N_2-N_3\right)\frac{A\,\sin(\omega t)+B\cos(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)}{\sqrt{[A\,\sin(\omega t)+B\cos(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+}}-\\
&\qquad\qquad\frac{}{+[A\,\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+C^2cos^{\,2}(2\omega t)}\\
&-\left(fN_1+fN_2+fN_3\right)\frac{2\pi R\cdot\sin(\omega t)}{\sqrt{4\pi^2R^2+S^2}}=0\\
&\left(N_1+N_2+N_3\right)\frac{A\,\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)}{\sqrt{[A\,\sin(\omega t)+B\cos(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+}}-\\
&\qquad\qquad\frac{}{+[A\,\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+C^2cos^{\,2}(2\omega t)}\\
&-\left(-fN_1-fN_2+fN_3\right)\frac{2\pi R\cdot\cos(\omega t)}{\sqrt{4\pi^2R^2+S^2}}-mg-P_v=0\\
&\left(N_1+N_2-N_3\right)\frac{\mathrm{C}\cos(2\omega t)}{\sqrt{[A\,\sin(\omega t)+B\cos(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+}}-\\
&\qquad\qquad\frac{}{+[A\,\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)\cdot\sin(2\omega t)]^2+C^2cos^{\,2}(2\omega t)}\\
&-\left(fN_1+fN_2+fN_3\right)\frac{S}{\sqrt{4\pi^2R^2+S^2}}=0.
\end{aligned}\right\}\qquad(3)$$

Висновки. Система (3) складається з рівнянь рівноваги бульби картоплі, коли вона перебуває в жолобі між сусідніми спіралями сепаратора 1 і 2, торкаючись витків цих спіралей у точках K_1, K_2 і K_3 у довільний момент часу t. Виконання умов, заданих рівнянням забезпечує теоретично стабільне положення бульби картоплі в жолобі з постійними точками дотику K_1, K_2 і K_3 до осі Oz аж до моменту її остаточного виходу зі спіралей.

Систему рівнянь (3.) можна розв’язати аналітично методом Крамера. Для цього систему слід перетворити у форму, що дозволяє застосувати зазначений метод.

Рішення одержаної системи рівнянь із використанням ПК дає можливість побудувати графічні залежності, що характеризують вплив конструктивних і кінематичних параметрів спірального сепаратора на процес сепарації картопляної купи й очищення бульб від ґрунту й домішок.

Список використаних джерел

1. V. Bulgakov, S.Nicolaenko, Z.Ruzhilo, J.Olt, M.Arac, I.Holovach Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor Biosystems Engineering. Agronomy Research. 2018, Volume 16, №1. – pp. 1590-1606 doi.org/10.15159/AR.18.037.

2. Булгаков В. М., Ружило З. В., Черновол М. І., Свірень М. О. Теоретичне дослідження взаємодії бульби із спіраллю очисника картопляного вороху. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2019. Вип. 49. С. 43–59. DOI: 10.32515/2414-3820.2019.49.43-59 .

3. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Ружило З. В. Математична модель коливального руху спіралі очисника картоплі від домішок. Вісник аграрної науки. 2019. DOI: 10.31073/agrovisnyk201909-08 .

4. Булгаков В. М., Ніколаєнко С.М., Адамчук В.В., Ружило З.В. Троханяк О.М. Очисник коренебульбоплодів від домішок. Патент України на винахід № 131211, Опубл.: 16.09.2026, бюл. № 37.

УДК 664.8.047:634.51

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

Калетнік Г. М.
Вінницький національний аграрний університет,
Цуркан О. В.
ВСП «Ладижинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Післязбиральна обробка волоських горіхів є сукупністю взаємопов'язаних технологічних операцій, спрямованих на збереження товарних, фізико-механічних та харчових властивостей продукції від моменту збирання до її реалізації або подальшої переробки. Якість виконання цих операцій безпосередньо визначає тривалість зберігання горіхів, вихід кондиційної продукції та її ринкову цінність.

Особливого значення набуває сушіння, оскільки саме воно забезпечує стабілізацію вологості горіхів та створює необхідні передумови для їх тривалого зберігання. При цьому традиційні способи сушіння характеризуються значними енергетичними витратами, а підвищення температури сушильного агента обмежується термолабільністю ядра. Отже, удосконалення технології післязбиральної обробки потребує комплексного підходу до вибору способів очищення, підготовки, сушіння, сортування та зберігання горіхової сировини.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз технологій післязбиральної обробки волоських горіхів свідчить, що промислова підготовка продукції передбачає послідовне виконання операцій приймання, очищення від зеленої оболонки, миття, сушіння, калібрування та сортування. Залежно від призначення продукції після цього можуть виконуватися операції розколювання шкаралупи, відділення ядра, фракціонування та пакування. Така послідовність забезпечує поступове формування необхідних якісних характеристик готової продукції [1].

Сушіння є найбільш відповідальною технологічною операцією, оскільки від його режиму залежить не тільки тривалість обробки, а й подальша здатність горіхів до зберігання. У роботах, присвячених сушінню волоського горіха, встановлено, що традиційні конвективні способи потребують значних енергетичних витрат, а підвищення температури сушильного агента має обмеження через чутливість ядра до перегрівання [2]. Тому одним із перспективних напрямів є інтенсифікація тепло- і масообміну без суттєвого збільшення температурного навантаження на продукт.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, підтвердили ефективність застосування вібраційного впливу під час сушіння. За однакових температури та швидкості сушильного агента коефіцієнт теплообміну при застосуванні вібрації був на 20–27 % вищим, ніж без неї [3, 4].

Таким чином, сучасна технологія післязбиральної обробки повинна розглядатися не як сукупність окремих операцій, а як взаємопов'язана система,

у якій параметри кожного технологічного етапу впливають на ефективність наступного. Особливо це стосується сушіння, яке значною мірою визначає пропускну здатність та енергетичну ефективність усієї технологічної лінії.

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування технологічних засад післязбиральної обробки волоських горіхів та визначення ефективних режимів основних операцій із видалення зовнішніх забруднень, стабілізації вологості, калібрування і підготовки продукції до зберігання або подальшої переробки.

Результати досліджень. Узагальнення результатів досліджень дає змогу сформувати технологічну послідовність післязбиральної обробки волоських горіхів, яка включає приймання сировини, первинне очищення від зеленої оболонки та сторонніх домішок, миття, сушіння, калібрування і сортування. Після стабілізації вологості продукція може бути спрямована на зберігання у шкаралупі або на подальшу переробку з отриманням ядра та інших цінних компонентів горіха.

Первинне очищення повинно виконуватися безпосередньо після збирання врожаю. Його основним завданням є видалення перикарпію та рослинних і механічних домішок. Подальше миття забезпечує очищення поверхні шкаралупи та підготовку продукції до сушіння. Технологічна доцільність такої послідовності полягає в тому, що сушінню піддається вже підготовлений продукт, а не суміш горіхів із залишками зовнішньої оболонки та забрудненнями.

Після миття основна маса вологи повинна бути видалена шляхом сушіння у конвективно-вібраційній сушарці. Такий характер впливу забезпечує переміщення та переформування шару горіхів, зменшення застійних зон і покращення умов тепло- та масообміну [3].

Експериментальні дослідження по визначенню раціональних параметрів процесу проводили з урахуванням температури та швидкості сушильного агента, а також віброприскорення робочої камери при фіксованій амплітуді коливань 6,5 мм. Критерієм оптимізації було прийнято питомі енергетичні витрати на випаровування 1 кг вологи [4, 5].

За результатами багатофакторного експерименту встановлено раціональні параметри конвективно-вібраційного сушіння: температура сушильного агента 38 °С, швидкість його руху 22,5 м/с, віброприскорення робочої камери 65,6 м/с² за амплітуди коливань 6,5 мм. За такого режиму забезпечується інтенсивне видалення вологи без надмірного температурного навантаження на ядро. Математична модель підтверджена експериментально, а розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями не перевищує 11 % [4].

Виробнича перевірка розробленої технології показала, що за початкової вологості горіхів 28 % її зниження до 10 % забезпечується протягом 8 год. Питомі енергетичні витрати при цьому становили 3,91 МДж/кг випареної вологи, що на 15–17 % менше порівняно із сучасними промисловими конвективними сушарками. Встановлено також, що застосування вібрації забезпечує підвищення коефіцієнта теплообміну на 20–27 %, що є одним із визначальних чинників інтенсифікації процесу [5].

Після сушіння горіхи доцільно калібрувати та сортувати за розмірними й якісними ознаками. Калібрування забезпечує формування однорідних фракцій, що важливо для подальшого механізованого розколювання шкаралупи та підвищення стабільності технологічного процесу. При переробці горіхів на ядро подальше сортування дає змогу розподілити продукцію за характером і цілісністю ядра, що підвищує її товарну цінність.

Отже, запропонована технологічна послідовність забезпечує взаємне узгодження операцій післязбиральної обробки. Найбільш енергоємну операцію - сушіння доцільно виконувати з використанням вібраційного впливу, що дає змогу підвищити інтенсивність теплообміну та зменшити питомі енергетичні витрати. Розроблений підхід може бути покладений в основу технологічних ліній післязбиральної обробки волоських горіхів, орієнтованих на отримання продукції стабільної якості.

Висновки.

1. Післязбиральна обробка волоських горіхів повинна розглядатися як комплекс взаємопов'язаних операцій, що включає приймання, очищення, миття, сушіння, калібрування та сортування з подальшим зберіганням або переробкою.

2. Встановлено, що сушіння є визначальною технологічною операцією, оскільки забезпечує стабілізацію вологості продукції та значною мірою визначає її здатність до тривалого зберігання.

3. Обґрунтовано використання вібраційного впливу для інтенсифікації сушіння. За його застосування коефіцієнт теплообміну підвищується на 20–27 %, що створює передумови для скорочення тривалості процесу та зниження енергетичних витрат.

Список використаних джерел

1. Руткевич В. С., Дідик А. М. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2023. Т. 1, № 1(317). С. 230–236. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-317-1-230-236.

2. Цуркан О. В., Спірін А. В., Твердохліб І. В., Дідик А. М. Обґрунтування способу сушіння волоських горіхів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2023. № 2(109). С. 5–11. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-21.

3. Цуркан О. В., Спірін А. В., Руткевич В. С., Дідик А. М. Розробка конвективно-вібраційної сушарки для сушіння волоських горіхів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2024. № 4(333). С. 393–399. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-333-2-61.

4. Цуркан О. В., Спірін А. В., Гудзенко Н. М., Дідик А. М. Математична модель процесу сушіння волоських горіхів в конвективно-вібраційній сушарці. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. № 4(115). С. 5–14. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-4-1.

5. Цуркан О. В., Спірін А. В., Руткевич В. С., Дідик А. М. Оцінка ефективності процесу сушіння волоських горіхів в конвективно-вібраційній сушарці. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. № 3(114). С. 5–12. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-1.

СЕКЦІЯ «СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ»

УДК 629.33.083:631.1

ТЕХНОЛОГІЧНА АДАПТИВНІСТЬ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА BEDNAR TERRALAND TN ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Бабич Я.В., Чумак М.В.
Полтавський державний аграрний університет

Сучасні системи основного обробітку ґрунту потребують поєднання глибокого руйнування ущільнених горизонтів «плужної підошви», збереження вологи та раціонального використання тягово-енергетичних ресурсів. Одним із технічних рішень для виконання таких операцій є навісний глибокорозпушувач BEDNAR TERRALAND TN, призначений для обробітку ґрунту на глибину до 65 см. Модельний ряд передбачає робочу ширину 3–4 м та агрегатування з тракторами орієнтовною потужністю 70–350 к.с. [1].

Конструктивною особливістю TERRALAND TN є можливість зміни характеру дії робочих органів відповідно до агротехнологічного завдання. Для інтенсивного глибокого розпушування застосовуються стійки ACTIVE-MIX. Спроектована геометрія забезпечує відповідне проникнення у ґрунтовий профіль руйнуючи ущільнені шари та перемішуючи ґрунту з рослинними рештками. Для обробітку без активного перемішування використовуються стійки ZERO-MIX з негативним кутом установки, дія яких спрямована на порушення ущільненого горизонту та аерацію ґрунтового профілю за мінімального переміщення ґрунтової маси [2].

Принципову відмінність двох варіантів роботи TERRALAND TN наведено на рисунку 1. Схема демонструє, що ACTIVE-MIX поєднує вертикальне руйнування ущільненого шару з інтенсивнішим переміщенням ґрунту у верхній частині профілю, тоді як ZERO-MIX орієнтований переважно на вертикальне розпушування та формування каналів для повітря і вологи без активного перемішування. Така змінність робочих органів дає змогу адаптувати один агрегат до різних технологічних сценаріїв.

Важливим елементом надійності агрегату є індивідуальний захист стійок. Для TERRALAND TN передбачено механічний захист зрізним болтом або гідравлічний NON-STOP. Згідно рекомендацій виробника, гідравлічний варіант призначений для кам’янистих і особливо важких ґрунтів, а захисне зусилля на одну стійку становить 1000–1500 кг [1]. Це дає змогу робочому органу відхилятися при перевантаженні та зменшує ризик пошкодження елементів агрегату.

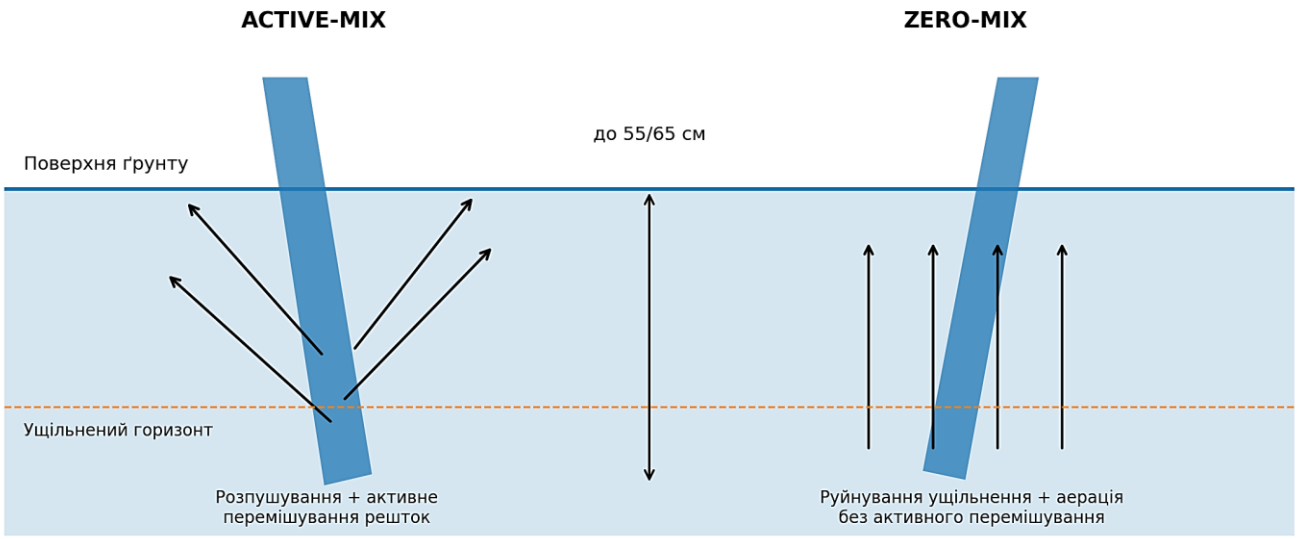


Рис. 1. Схематичне порівняння характеру дії стійок ACTIVE-MIX і ZERO-MIX у глибокорозпушувачі BEDNAR TERRALAND TN.

Після секції робочих стійок можуть встановлюватися подвійні шпорові котки. Їх завдання полягає у подрібненні грудок, вирівнюванні поверхні та частковому ущільненні обробленого шару. Можливість регулювання взаємного положення котків дає змогу пристосовувати агрегат до вологості ґрунту та кількості рослинних решток. Для підтримання заданої глибини можуть застосовуватися опорні колеса, а бічні заслони або додаткові бічні котки зменшують ризик утворення гребенів на стиках суміжних проходів [1].

Окремий технологічний інтерес становить можливість суміщення глибокого розпушування з профільним внесенням добрив. Виробник передбачає агрегатування TERRALAND TN із бункерами COMBO SYSTEM CS або SEED BOX SB, що дозволяє подавати добрива у ґрунтовий профіль під час одного проходу. Поєднання операцій потенційно скорочує кількість проходів машинно-тракторного агрегату та створює умови для локалізації поживних речовин у глибших шарах ґрунту [1].

Для підвищення ресурсу робочих органів доступні долота LONG LIFE з карбідними елементами. За інформацією BEDNAR, така конструкція має до десяти разів більший строк експлуатації порівняно зі стандартним виконанням. Збереження геометрії долота в процесі зношування є важливим чинником підтримання сталої глибини та стабільності технологічного процесу [1].

Серія TERRALAND TN включає модифікації TN_M та TN_D. Для TN_M максимальна глибина обробітку становить 55 см, тоді як моделі TN_D розраховані на роботу до 65 см. Модель TERRALAND TN 4000 HD9 має робочу ширину 4 м, дев’ять стійок із кроком 45 см, гідравлічний захист та складану конструкцію з транспортною шириною 3 м [1; 2]. Така конфігурація орієнтована на поєднання високої міцності рами з можливістю безпечного транспортування дорогами загального користування.

З агротехнічної точки зору глибоке розпушування доцільне насамперед за наявності ущільнених підорних горизонтів, які обмежують проникнення коренів, вологи та повітря. Таким чином застосування глибокого рихлення може сприяти розвитку кореневої системи, руйнуванню ущільнених шарів та поліпшенню водно-повітряного режиму ґрунту. Водночас фактичну робочу глибину та тип стійки необхідно визначати з урахуванням стану ґрунтового профілю, вологості, культури та технології господарства.

Отже, BEDNAR TERRALAND TN є багатоваріантним глибокорозпушувачем, технологічна ефективність якого базується на можливості адаптації робочих органів до конкретного завдання. Поєднання стійок ACTIVE-MIX і ZERO-MIX, механічного або гідравлічного захисту, системи котків та опцій профільного внесення добрив розширює функціональність агрегату. Застосування такої конструкції може бути доцільним у ресурсозберігаючих технологіях основного обробітку, де необхідно цілеспрямовано руйнувати ущільнені горизонти та одночасно мінімізувати зайві технологічні проходи.

Список використаних джерел

1. BEDNAR FMT. TERRALAND TN. Навісний глибокорозпушувач для глибокого обробітку ґрунту до 65 сантиметрів. URL: https://www.bednar.com/uk/terraland-tn /.

2. BEDNAR FMT. A new TERRALAND TN 4000 HD9 chisel plough model in the folding configuration. URL: https://www.bednar.com/en/blog/a-new-terraland-tn-4000-hd9-chisel-plough-model-in-the-folding-configuration/.

УДК 631.3:004.896

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІЙСЬКОВИХ НРК ДЛЯ РОБОТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ В АГРАРНІЙ ГАЛУЗІ

Борак К.В., Куликівський В.Л., Хмельовський Р.А.
Поліський національний університет

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасного аграрного виробництва є впровадження автоматизованих і роботизованих технічних систем. Дефіцит кваліфікованих працівників, необхідність зниження виробничих витрат, підвищення безпеки праці та ефективності використання ресурсів формують потребу в мобільних роботизованих платформах. Особливо актуальним цей напрям є для України, де протягом останніх років активно розвивається виробництво наземних роботизованих комплексів (НРК).

Наземний роботизований комплекс – це мобільний технічний засіб, здатний дистанційно керуватися оператором або виконувати окремі операції в автоматичному чи автономному режимі. До складу НРК, як правило, входять колісна або гусенична платформа, приводи, джерело енергії, система керування,

засоби зв'язку, відеокамери, датчики та змінне обладнання. Модульність конструкції дозволяє відносно швидко змінювати функціональне призначення такої машини.

Український досвід створення і використання військових НРК формує значний науково-технічний потенціал, який у перспективі може бути застосований у цивільних галузях. НРК уже виконують транспортні, логістичні, евакуаційні та інженерні завдання. У першій половині 2026 року Міністерством оборони України було кодифіковано та допущено до експлуатації близько пів сотні нових наземних роботизованих комплексів [1]. Досвід їх експлуатації підтверджує можливість використання мобільних роботів у складних дорожніх, погодних і рельєфних умовах.

Значна частина технологічних рішень військових НРК має подвійне призначення. Після демілітаризації та заміни спеціального обладнання сільськогосподарськими робочими органами такі платформи можуть бути адаптовані до виконання широкого спектра аграрних операцій. При цьому ходова система, електропривод, дистанційне керування, засоби зв'язку, відеоспостереження та частина програмного забезпечення вже пройшли випробування в складних умовах експлуатації.

Одним із найбільш перспективних напрямів застосування НРК є внутрішньогосподарська транспортна логістика. Роботизовані платформи можуть використовуватися для доставки насіння, добрив, засобів захисту рослин, запасних частин, інструментів та інших вантажів до місця виконання технологічних операцій. У тваринництві вони можуть транспортувати корми, підстилку, продукцію та обслуговувати виробничі приміщення. Особливо ефективним є їх застосування на повторюваних маршрутах між складом, полем, фермою та іншими об'єктами підприємства.

Іншим напрямом є створення на базі НРК універсальних роботизованих енергетичних засобів, здатних працювати зі змінним сільськогосподарським обладнанням. Такі платформи можуть використовуватися для міжрядного обробітку, локального внесення добрив і засобів захисту рослин, косіння, догляду за садами та виноградниками. Необхідною умовою є створення уніфікованих механічних, електричних та інформаційних інтерфейсів для агрегатування зі змінними робочими органами.

Значні перспективи НРК мають у технологіях точного землеробства. Оснащення роботизованої платформи GNSS-приймачами, камерами машинного зору, LiDAR та іншими сенсорами дозволяє переходити від дистанційного керування до автономного виконання технологічних операцій. Комплексне використання супутникової навігації, машинного зору і лазерного сканування дає можливість рухатися заданою траєкторією, визначати межі проходів, розпізнавати перешкоди та автоматично коригувати маршрут [2].

Застосування штучного інтелекту створює можливості використання НРК для моніторингу стану посівів. Камери та спектральні сенсори можуть забезпечувати інформацію про розвиток рослин, наявність бур'янів, ознаки захворювань, дефіцит елементів живлення та локальні пошкодження. Перевагою

наземних платформ порівняно з безпілотними літальними апаратами є можливість роботи безпосередньо біля рослин та поєднання моніторингу з виконанням технологічної операції, наприклад локального обприскування.

Важливим напрямом є застосування НРК під час виконання небезпечних виробничих операцій. Для України це має особливе значення через мінування та забруднення окремих сільськогосподарських територій вибухонебезпечними предметами. Роботизовані платформи можуть використовуватися для дистанційного обстеження та виконання допоміжних операцій на територіях після відповідної перевірки спеціалізованими службами. Також їх доцільно використовувати під час робіт із агрохімікатами, в умовах запиленості, високої температури та інших шкідливих виробничих факторів.

Значний потенціал роботизовані платформи мають у садівництві, ягідництві, овочівництві та тепличному виробництві, де використання традиційних тракторів обмежується їхніми габаритами. Компактні електричні НРК можуть переміщуватися між рядами, транспортувати продукцію, здійснювати моніторинг, локальне обприскування та механічний догляд за рослинами. У перспективі встановлення роботизованих маніпуляторів дозволить частково автоматизувати збирання плодів та овочів.

Важливою перевагою військових НРК є накопичений досвід створення надійних систем дистанційного керування і зв'язку. Для аграрного виробництва такі технології можуть використовуватися під час роботи техніки на значній відстані від оператора. Разом із тим цивільне використання передбачає інші пріоритети: низьку вартість обладнання, стабільність передачі даних, можливість інтеграції з мобільними мережами та цифровими системами аграрного підприємства.

Адаптація військового НРК до аграрного виробництва потребує певного переоснащення. Насамперед необхідними є демонтаж спеціалізованого військового обладнання, зниження маси, оптимізація ходової частини для зменшення ущільнення ґрунту, збільшення тривалості автономної роботи та створення систем агрегатування із сільськогосподарськими машинами. Важливими показниками для аграрного робота стають енергоефективність, низький питомий тиск на ґрунт, ремонтопридатність, простота технічного обслуговування та невисока вартість експлуатації.

Перспективним підходом є створення універсальної модульної аграрної роботизованої платформи. Один базовий НРК протягом року може працювати з різними технологічними модулями. Навесні він може використовуватися для моніторингу та догляду за посівами, влітку – для локального внесення засобів захисту рослин, восени – для транспортування продукції, а в інші періоди – для обслуговування тваринницьких і складських комплексів. Такий підхід забезпечить високе річне завантаження технічного засобу та скорочення строку його окупності.

Водночас широке впровадження НРК потребує вирішення низки технічних та організаційних питань. До них належать нормативне забезпечення безпечної експлуатації автономної техніки, стандартизація інтерфейсів змінного

обладнання, підготовка операторів і сервісного персоналу, кібербезпека, розвиток зарядної інфраструктури та системи технічного сервісу. Важливим чинником залишається економічна ефективність. FAO зазначає, що автоматизація сприяє підвищенню продуктивності та точності операцій, проте її впровадження може обмежуватися високими початковими витратами, недостатньою інфраструктурою та потребою у відповідних компетентностях персоналу [3].

Таким чином, накопичений Україною досвід створення та використання військових наземних роботизованих комплексів може стати важливою передумовою прискореної роботизації аграрного виробництва. Найбільш перспективними напрямами їх цивільного застосування є транспортно-логістичні операції, моніторинг посівів, точне внесення технологічних матеріалів, міжрядний обробіток, догляд за садами, робота у тваринництві та виконання небезпечних операцій.

Список використаних джерел

1. Міністерство оборони України. Більше НРК для Сил оборони: кодифіковано 50 роботів з початку року. 2026.
2. Li M., Imou K., Wakabayashi K., Yokoyama S. et al. Agricultural machinery automatic navigation technology. iScience. 2024. Vol. 27. Article 108714.
3. FAO. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
4. Liu L., Yang F., Liu X. et al. A review of the current status and common key technologies for agricultural field robots. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 227. Article 109630.

УДК 631.3:004.896:631.51

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОБОТИЗОВАНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Горюнов Б. О.
Полтавський державний аграрний університет

Сучасне землеробство характеризується зростанням вимог до продуктивності сільськогосподарської техніки, точності виконання технологічних операцій та раціонального використання виробничих ресурсів. Традиційні машинно-тракторні агрегати потребують постійної участі оператора, що обмежує можливості тривалої безперервної роботи та підвищує залежність результатів технологічних процесів від людського фактора.

Перспективним напрямом удосконалення сільськогосподарської техніки є створення роботизованих машинно-тракторних агрегатів (МТА), здатних автоматизовано або автономно виконувати польові операції. Їх використання

передбачає інтеграцію навігаційних систем, електронних засобів керування, датчиків, комп'ютерного зору та алгоритмів штучного інтелекту. Водночас упровадження роботизованих МТА супроводжується технічними, економічними та організаційними проблемами, що зумовлює необхідність дослідження перспектив їх розвитку.

Питання розвитку сільськогосподарської робототехніки висвітлено у працях зарубіжних дослідників. Були розглянуті основні конструктивні й функціональні компоненти польових роботизованих машин, особливості навігації, керування та взаємодії з навколишнім середовищем [1]. Також проаналізовано економічні аспекти застосування роботизованих систем у рослинництві [2]. Автоматизацію сільського господарства досить часто визначають одним із перспективних напрямів підвищення продуктивності та ефективності використання ресурсів [3]. Значна увага приділяється також питанням безпечної експлуатації автономної техніки, що відображено в міжнародному стандарті ISO 18497-1:2024 [4].

Роботизовані машинно-тракторні агрегати являють собою технічні системи, в яких функції керування рухом, контролю технологічних параметрів та виконання окремих операцій частково або повністю автоматизовані. Залежно від рівня автоматизації можна виділити агрегати з автоматичним водінням, напівавтономні системи та повністю автономні роботизовані комплекси. Основою функціонування таких агрегатів є навігаційні системи глобального супутникового позиціонування GNSS. Використання технології RTK дозволяє забезпечувати сантиметровий рівень точності позиціонування за належних умов приймання сигналу та отримання поправок. Це створює передумови для точного виконання сівби, міжрядного обробітку, внесення добрив та інших технологічних операцій.

Важливим напрямом розвитку роботизованих МТА є інтеграція навігаційних систем із датчиками контролю навколишнього середовища. Для виявлення перешкод і визначення умов руху можуть застосовуватися відеокамери, радари, лідари та інерціальні вимірювальні системи. Поєднання інформації від різних датчиків підвищує надійність орієнтування агрегату за змінних польових умов. Особливого значення набуває використання комп'ютерного зору та машинного навчання. Ці технології дозволяють аналізувати зображення сільськогосподарських угідь, розпізнавати рядки культурних рослин, виявляти бур'яни та визначати розташування сторонніх об'єктів. На основі отриманої інформації роботизований агрегат може коригувати траєкторію руху або параметри роботи виконавчих механізмів.

Перспективним напрямом є автоматизація керування робочими органами сільськогосподарських машин. Роботизовані агрегати можуть забезпечувати регулювання глибини обробітку ґрунту, норми висіву, дозування добрив та інших технологічних параметрів відповідно до заданої програми або даних сенсорного контролю. Це сприяє підвищенню точності виконання операцій і створює передумови для зменшення непродуктивних витрат ресурсів.

Окрему перспективу становить застосування компактних автономних енергетичних засобів замість традиційних великогабаритних тракторів. Використання групи роботизованих машин дозволяє розподіляти технологічне навантаження між декількома агрегатами, організовувати паралельне виконання операцій та підвищувати гнучкість виробничих процесів. За відповідних конструктивних і ґрунтових умов зменшення маси окремих машин також може сприяти зниженню ущільнення ґрунту.

Важливим напрямом розвитку є впровадження систем дистанційного моніторингу та керування роботизованими агрегатами. Використання телематичних технологій забезпечує передавання інформації про місцеположення машин, виконання технологічних операцій, витрати пального або електроенергії та технічний стан обладнання. Це створює можливості для централізованого керування групами машин і раціонального планування їх використання.

Разом із тим широке впровадження роботизованих МТА обмежується високою початковою вартістю, складністю технічного обслуговування, необхідністю стабільного позиціонування та забезпечення безпеки. Особливої уваги потребують питання виявлення людей і перешкод, аварійного зупинення, контролю робочої зони та можливості втручання оператора.

Я вважаю, що для аграрних підприємств України перспективним є поетапне впровадження роботизованих технологій. Початковим етапом може бути використання автоматичного водіння та супутникової навігації. Наступними етапами є автоматизація керування робочими органами, інтеграція систем комп'ютерного зору та поступовий перехід до автономного виконання окремих польових операцій.

Подальший розвиток роботизованих МТА пов'язаний з удосконаленням алгоритмів штучного інтелекту, підвищенням надійності сенсорних систем, розвитком електричних і гібридних приводів та інтеграцією техніки в цифрові системи управління аграрним виробництвом.

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що роботизація машинно-тракторних агрегатів є перспективним напрямом розвитку сучасної землеробської механіки. Застосування автономних систем керування, GNSS/RTK-навігації, комп'ютерного зору та машинного навчання створює передумови для підвищення точності виконання технологічних операцій, продуктивності та ефективності використання ресурсів. Найбільш перспективними напрямами є розвиток автономних тракторів, компактних роботизованих платформ, інтелектуальних систем керування робочими органами та технологій координованої роботи декількох агрегатів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення надійності й безпеки роботизованих систем, удосконалення алгоритмів навігації та обґрунтування економічної ефективності їх використання в умовах конкретних аграрних підприємств.

Список використаних джерел

1. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 149. P. 94–111. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.

2. Lowenberg-DeBoer J., Huang I. Y., Grigoriadis V., Blackmore S. Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture*. 2020. Vol. 21. P. 278–299. DOI: 10.1007/s11119-019-09667-5.

3. FAO. *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. DOI: 10.4060/cb9479en.

4. ISO 18497-1:2024. *Agricultural machinery and tractors — Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery — Part 1: Machine design principles and vocabulary*. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.

УДК 624.131

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ҐРУНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТА РУХОВИМИ МЕХАНІЗМАМИ

Ковбаса В. П.

Полтавський державний аграрний університет,

Дослідження взаємодії ґрунту з робочими органами для обробітку ґрунту, колісними та гусеничними рушіями вимагає насамперед відповіді на питання, яким фізичним об’єктом вважається ґрунт у розрахунковій моделі. Історичний розвиток землеробської механіки демонструє кілька стійких напрямків: уявлення ґрунту як твердого або гранично рівноважного масиву; емпіричний та напівемпіричний опис; реологічна та континуальна формалізація; дискретне уявлення; а також сучасні гібридні та безсіткові методи. Праці Уільяма Р. Гілла та Глена Ванден Берга [1], Мечислава Беккера [2, 3], Адріана Кулена та Хендерікуса Кьойперса [4], Кушнарьова А. С. [5], Джо Вонга [6], Річарда Годвіна [7], та сучасні дослідження DEM [8-9] дозволяють прослідкувати цю еволюцію.

Найбільш ранні інженерні схеми взаємодії робочого органу з ґрунтом ґрунтуються на виділенні клину, призми або іншої області руйнування та складанні умов рівноваги сил. У цьому класі моделей деформування масиву до настання граничного стану або не розглядається, або враховується опосередковано. Основні результати – сила опору, положення передбачуваної поверхні ковзання та граничне навантаження.

Для зв’язного середовища з тертям природною основою слугує умова Мора-Кулона: $\tau f = c + \sigma_n \tan\varphi$, де τf – граничне дотичне напруження; c – зчеплення; σ_n – нормальне напруження на площадці; φ – кут внутрішнього тертя. На цій основі побудовано великий клас розрахунків пасивного тиску та

опору ґрунтообробних робочих органів. В інтегрованих моделях використовуються квазістатичні уявлення механіки Мора-Кулона, що пов'язують геометрію знаряддя, глибину обробки та фізичні властивості ґрунту з горизонтальною та вертикальною складовими сили [10].

Перевага такого підходу полягає в аналітичній оглядовості та невеликій кількості параметрів. Обмеження є принциповим, адже модель граничної рівноваги зазвичай не дає повного поля переміщень, деформацій і напружень на всіх стадіях навантаження. Тому вона зручна для оцінки опору та характеру руйнування, але значно гірше пристосована до аналізу ущільнення, відновлення форми, накопичення залишкових деформацій та локальної зміни структури ґрунту.

У терамеханіці рушійних сил широко застосовується опис, у якому реакція ґрунту задається експериментально встановленими залежностями. Класична модель Беккера-Вонга пов'язує нормальний тиск із зануренням, а дотичне напруження – зі зсувом або буксуванням [2, 3, 5]. Такі моделі не вимагають розв'язання повної тривимірної задачі механіки суцільного середовища і тому є надзвичайно зручними для інженерних розрахунків прохідності та тягових властивостей: $p = p(z)$, $\tau = \tau(j)$, де z – занурення опорної поверхні, j – характерне відносне дотичне переміщення. Результуючі нормальна та дотична сили визначаються інтегруванням контактних напружень $N = \int (Sc)\, p\, dS, T = \int (Sc)\, \tau\, dS.$

Сильною стороною напівемпіричної формалізації є компактність та безпосередній зв'язок з експериментом. Слабкою стороною є залежність коефіцієнтів від методики випробувань, стану ґрунту, вологості, щільності, масштабу контактної площі та історії навантаження. Саме тому перенесення параметрів між різними умовами вимагає обережності.

Для вітчизняної та української школи принципове значення має перехід від опису лише сил опору до формалізації механічних властивостей самого ґрунту [5, 11]. Реологічна формалізація дозволяє у загальному вигляді записати зв'язок між напруженнями, деформаціями, швидкостями деформацій та параметрами структури: $\sigma = F(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t, q1, q2, \ldots)$, де σ та ε – позначають тензори напружень і деформацій, $\dot{\varepsilon}$ – тензор швидкостей деформацій, а qi – внутрішні параметри, що характеризують структуру, зміцнення, щільність, пошкодженість або інші властивості матеріалу. Такий запис принципово ширший за схему граничної рівноваги.

Континуальна формалізація розглядає ґрунт як суцільне середовище, у кожній точці якого визначаються переміщення, деформації та напруження. Це не означає обов'язкового припущення про пружність – визначальний закон може бути пружним, нелінійно-пружним, пружно-пластичним, в'язко-пластичним, із зміцненням, розм'якшенням та ущільненням.

У квазістатичній постановці основою є рівняння рівноваги: $\nabla \cdot \sigma + \rho b = 0$. З урахуванням інерції використовується рівняння руху: $\nabla \cdot \sigma + \rho b = \rho \ddot{u}$. Для малих деформацій кінематичне співвідношення має вигляд: $\varepsilon = 1/2\left(\nabla u + (\nabla u)^T\right)$. Замикає

систему визначальний закон матеріалу: $\sigma = F\left(\varepsilon, \varepsilon^p, \kappa, \dot{\varepsilon}, \ldots\right)$, де ε^p – пластична складова деформації, κ – параметр зміцнення або інший внутрішній параметр. У пружно-пластичній постановці додатково задаються функція текучості, закон пластичної течії та закон еволюції внутрішніх змінних: $f\left(\sigma, \kappa\right) \leq 0,\ d\varepsilon \wedge p = d\lambda\, \partial g / \partial \sigma.$

Континуальна постановка дає принципово багатший результат, саме тому вона представляє особливий інтерес при оцінці агротехнічного впливу та при оптимізації форми робочих органів. Якщо робоча поверхня описується параметрично, то континуальна крайова задача формує послідовне відображення від геометрії до стану середовища. Ця обставина є принципово важливою для оптимального проєктування.

Як цільова функція може використовуватися не тільки тяговий опір, а й сукупність енергетичних та агротехнічних критеріїв: $\mathrm{J}(\xi) = \mathrm{W}(\xi) + \lambda 1\, \mathrm{D}(\xi) + \lambda 2\, \mathrm{C}(\xi)$, де W – робота або енергія переміщення; D – міра небажаного зсуву ґрунту; C – міра ущільнення; $\lambda 1$ та $\lambda 2$ – вагові коефіцієнти. За наявності аналітичного або аналітико-асимптотичного розв'язку похідні за геометричними параметрами можна отримати безпосередньо, що суттєво відрізняє такий підхід від серії непов'язаних чисельних експериментів.

Проте необхідно відокремлювати метод кінцевих елементів від фізичної моделі ґрунту. FEM дискретизує область і наближено розв'язує рівняння континуальної механіки. В одній й тій самій кінцево-елементній схемі можуть використовуватися різні визначальні закони – лінійна пружність, критерії Мора-Кулона, Друкера-Прагера, модель Cam-Clay та інші складніші моделі. Головною перевагою FEM є можливість працювати зі складною геометрією, неоднорідністю, контактними умовами та нелінійними законами матеріалу. Недоліком відносно інтенсивної обробки ґрунту є великі деформації та руйнування, які можуть призводити до сильного спотворення лагранжевої сітки. Для подолання цього обмеження застосовуються перебудова сітки, ALE/CEL, MPM, SPH та пов'язані з ними методи.

З точки зору наукової інтерпретації важливо, що конкретний FEM-розрахунок дає рішення для обраного набору параметрів, геометрії, сітки, контактного алгоритму та граничних умов. Отримання загальної функціональної залежності вимагає серії розрахунків, параметричного аналізу або побудови редукованої/апроксимуючої моделі.

У дискретно-елементному методі ґрунт замінюється набором окремих елементів або їхніх агрегатів. Для кожного елемента розв'язуються рівняння поступального та обертального руху. Контактні сили визначаються обраним законом контакту, що включає нормальну та дотичну жорсткість, тертя, демпфірування, зчеплення або руйнівні зв'язки. Завдяки цьому DEM природно описує руйнування матеріалу, перемішування, утворення вільної поверхні та дуже великі відносні переміщення частинок [8].

Однак параметри контакту в DEM не є тотожними безпосередньо стандартному набору макроскопічних параметрів ґрунту. Дослідження

спеціально розглядають визначення та калібрування параметрів дискретної моделі й відзначають відсутність універсальної стабільної процедури їхнього визначення [9]. Отже, DEM має високу здатність відтворювати кінематику руйнування, але вимагає окремого етапу ідентифікації мікропараметрів.

Додаткового розгляду потребує й сучасний аналітичний напрям, у якому колесо (шина) та опорна поверхня розглядаються як взаємодіючі деформовані тіла. Ця постановка відрізняється як від класичної напівемпіричної терамеханіки Беккера-Вонга, так й від чисельного відтворення конкретної конфігурації за допомогою FEM або DEM. Її метою є отримання явних залежностей контактних сил, деформацій та меж зони контакту від геометрії колеса, механічних властивостей обох матеріалів, що контактують, та зовнішніх навантажень [12-14]. Для загальної класифікації методів формалізації ґрунту ця група робіт має принципове значення. Вона показує, що між класичними напівемпіричними моделями терамеханіки та повністю чисельними розрахунками методами FEM/DEM існує окрема аналітична гілка. У ній зберігаються механічні властивості обох тіл як параметри розв’язку, і водночас визначається сама контактна область.

Саме збереження такої параметричної структури робить аналітичне рішення особливо цінним для подальшої оптимізації рушія. Воно дозволяє досліджувати вплив жорсткості колеса та ґрунту, радіуса, навантаження, тягового зусилля та моменту без перетворення кожного нового поєднання параметрів на окремий незалежний чисельний експеримент.

Проблема великих деформацій призвела до розвитку методів, які зберігають континуальну постановку, але зменшують залежність від спотворення розрахункової сітки. До них належать Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Material Point Method (MPM), Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE), Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL), а також комбінації FEM-DEM та FEM-SPH. Їхнє методологічне положення слід формулювати обережно. Зокрема, SPH та MPM можуть використовувати континуальний визначальний закон і тому не обов’язково означають відмову від моделі суцільного середовища. FEM-DEM, навпаки, може поєднувати два рівні формалізації – деформований континуум для однієї частини системи та дискретне середовище для іншої. Вибір такого методу є виправданим, коли необхідно одночасно описувати поля напружень і значні деформації матеріалу.

У висновку можна зазначити, що не можна розглядати класифікацію «аналітика – FEM – DEM» як перелік однорідних альтернатив. Аналітичний метод і FEM є способами розв’язання математичної задачі; DEM водночас визначає особливий спосіб дискретизації та, у більшості сільськогосподарських застосувань, іншу фізичну ідеалізацію ґрунту як сукупності взаємодіючих частинок. Для задач, у яких потрібно не тільки відтворити конкретний досвід, а й встановити загальні закономірності впливу геометрії та властивостей ґрунту, континуальна формалізація має кілька істотних переваг.

По-перше, її параметри мають макроскопічний механічний зміст і можуть бути пов’язані зі стандартними характеристиками матеріалу, а саме модулем

деформації, коефіцієнтом Пуассона, зчепленням, кутом внутрішнього тертя, межею плинності, параметрами зміцнення та ущільнення. По-друге, рішення дає розподілені поля, а не лише результуючу силу. По-третє, аналітична або аналітико-асимптотична форма зберігає явну залежність від геометрії та параметрів матеріалу.

Особливо це важливо для спільної задачі «деформований робочий орган або рушій – деформований ґрунт». При континуальному описі обох середовищ контактні напруження є частиною єдиної крайової задачі, а деформація одного тіла не виключається з розгляду заздалегідь. Це дозволяє дослідити вплив жорсткості рушія або робочого органу на розмір контактної області, розподіл тиску та дотичних напружень.

Водночас не слід абсолютизувати континуальний підхід. У разі повного руйнування, інтенсивного перемішування та перенесення окремих грудок DEM може бути більш фізично наочним. У разі складної геометрії та нелінійного закону FEM/MPM може виявитися більш практичним, ніж аналітика.

Тому раціональна стратегія полягає у використанні аналітичної моделі для виявлення структури залежностей, а чисельних методів – для перевірки, уточнення та дослідження областей, де аналітичне рішення перестає бути надійним.

Список використаних джерел

1. Gill W.R., Vanden Berg G.E. Soil Dynamics in Tillage and Traction. USDA Agricultural Handbook No. 316. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1968.

2. Bekker M. G. Theory of Land Locomotion: The Mechanics of Vehicle Mobility. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1956. 520 p.

3. Bekker M.G. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1969. 846 p.

4. Koolen A. J., Kuipers H. Agricultural Soil Mechanics. Berlin: Springer, 1983. Advanced Series in Agricultural Sciences, Vol. 13. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69010-5

5. Кушнарьов А. С., Кочев В. І. Механіко-технологічні основи обробки ґрунту. Київ: Урожай, 1989. 144 с.

6. Wong J. Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering: Terrain Behaviour, Off-Road Vehicle Performance and Design. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2010.

7. Godwin R. J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research*, 97(2), 331-340. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.010

8. Shmulevich, I., Horn, R. (2010). State of the art modeling of soil–tillage interaction using discrete element method. *Soil & Tillage Research*, 111 (1), 41-53. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.003

9. Mak J., Chen Y., Sadek M. A. (2012). Determining parameters of a discrete element model for soil–tool interaction. *Soil & Tillage Research*, 118, 117-122. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.019

10. Godwin R. J., O'Dogherty M. J. (2007). Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics,* 44(1), 3-14. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2006.01.001

11. Ковбаса В. П. Механіка взаємодії робочих органів із ґрунтом: монографія. Київ; Ніжин: Лисенко М.М., 2016. 297 с.

12. Kovbasa V. P., Solomka A. V., Spirin A. V., Kucheruk V. Yu., Karabekova D. Zh., Khassenov A. K. (2020).Theoretical determination of the distribution of forces and the size of the boundaries of the contact in the interaction of the deformable drive wheel with the soil. *Bulletin of the Karaganda University. Physics Series,* 3(99), 62-72. https://doi.org/10.31489/2020Ph3/62-72

13. Kovbasa V., Priliepo N. (2025). Determination of analytical dependencies of distributed forces in a deformable wheel – deformable surface contact zone. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(1(83), 6-12. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329471

14. Kovbasa V., Priliepo N. (2025). Analytical determination of absolute deformations and boundaries of the contact zone of a deformable wheel with a deformable surface. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1(86), 26-33. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.346717

УДК 631.3:629.783

ВИКОРИСТАННЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СІЛЬСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЯК ФАКТОР СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОБІЗНЕСУ

Дорошенко С.В., Бабич Я.В., Чумак М.В.
Полтавський державний аграрний університет

Сучасний етап розвитку світового та вітчизняного агропромислового комплексу характеризується глобальною цифровізацією та переходом від екнтенсивних методів господарювання до високотехнологічних рішень [3]. Головним викликом для сучасного аграрія є необхідність підвищення продуктивності виробництва в умовах обмеженості ресурсів, кліматичних змін та жорстких вимог до екологічної безпеки.

Встановлено, що рівень впровадження цифрових агротехнологій суттєво відрізняється залежно від природно-кліматичних умов, спеціалізації сільськогосподарського виробництва, розмірів господарств, рівня їх технічного оснащення та економічного потенціалу регіонів. Показано, що найактивніше сучасні технології використовуються у великих аграрних підприємствах, тоді як їх поширення серед малих і середніх господарств обмежується фінансовими, технічними та кадровими чинниками. Визначено основні переваги використання елементів точного землеробства для аграрного сектора України, серед яких підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, зменшення витрат матеріальних ресурсів, оптимізація внесення добрив і засобів захисту

рослин, покращення екологічної безпеки та ефективності управління земельними ресурсами.

У цьому контексті використання супутникової навігації в сучасному агровиробництві є ключовим драйвером переходу до точного землеробства, що дозволяє оптимізувати витрати ресурсів, підвищити врожайність та мінімізувати екологічне навантаження на довкілля. Впровадження технологій глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), включаючи GPS, Galileo та системи високоточного позиціонування RTK, трансформує традиційне землеробство у керований, прогнозований та високоефективний індустріальний процес [1]. Встановлено, що рівень впровадження цифрових агротехнологій суттєво відрізняється залежно від природно-кліматичних умов, спеціалізації сільськогосподарського виробництва, розмірів господарств, рівня їх технічного оснащення та економічного потенціалу регіонів. Показано, що найактивніше сучасні технології використовуються у великих аграрних підприємствах, тоді як їх поширення серед малих і середніх господарств обмежується фінансовими, технічними та кадровими чинниками. Визначено основні переваги використання елементів точного землеробства для аграрного сектора України, серед яких підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, зменшення витрат матеріальних ресурсів, оптимізація внесення добрив і засобів захисту рослин, покращення екологічної безпеки та ефективності управління земельними ресурсами. [5].

Точне землеробство — це концепція менеджменту продуктивності угідь, яка базується на використанні супутникових даних для фіксації внутрішньопольової неоднорідності [3]. Традиційний підхід розглядає кожне поле як однорідну ділянку, де добрива, насіння та вода вносяться за усередненими нормами. Проте реальний стан ґрунту, рівень його зволоженості та рельєф суттєво відрізняються навіть у межах одного гектара.

CHCNAV відомий рішеннями у сфері GNSS, навігації, геодезії та автоматизованого керування технікою. Для агросектору бренд пропонує інструменти, які дозволяють зробити точне землеробство доступнішим для ширшого кола господарств. Навігаційні системи дозволяють вирішити цю проблему шляхом точної географічної прив’язки кожної точки поля [4].

Без застосування супутникової навігації реалізація жодного з елементів точного землеробства є неможливою, оскільки саме координатна прив'язка об'єднує інформаційні дані з виконавчим обладнанням техніки [1].

Практичне використання навігації в полі реалізується через системи паралельного водіння (курсовказівники) та автоматичного пілотування (автопілоти). Ці системи спрямовують рух трактора чи обприскувача за заданою траєкторією з мінімальною участю механізатора [1].

Головним технологічним досягненням тут є впровадження RTK (Real Time Kinematic) навігації — методу супутникового позиціонування, який забезпечує сантиметрову точність (до 2–3 см) [1]. Економічний ефект від мінімізації похибок руху техніки виражається у наступних аспектах:

Під час внесення добрив або обприскування без навігації водій змушений робити напуски сусідніх смуг, щоб не залишити необроблених ділянок. Навігаційні системи зводять перекриття до нуля. Це безпосередньо заощаджує до 10–15% насіння, пального, мінеральних добрив та засобів захисту рослин (ЗЗР) [3].

Автопілоти дозволяють працювати в умовах нульової видимості: вночі, під час сильного туману чи запиленості [1]. Зменшення стомлюваності оператора. Механізатор звільняється від рутинного утримання курсу кермом і може повністю зосередитися на контролі якості виконання технологічного процесу (роботі сівалки, глибині обробітку, тиску в обприскувачі) Це збільшує добовий коефіцієнт використання техніки, що критично важливо у короткі вікна посівних або збиральних кампаній.[2].

Навігація є фундаментом для технологіг диференційованого внесення (Variable Rate Application — VRA) [3]. Маючи точну карту поля та GNSS-навігатор, сучасний обприскувач чи розкидач добрив автоматично змінює норму виливу чи висипання речовини у реальному часі залежно від того, у якій точці поля він перебуває.

На ділянках із низьким потенціалом урожайності техніка зменшує норму висіву, а на родючих чи пригнічених ділянках — збільшує обсяг живлення [3]. Результатом є:

1. Оптимізація архітектоніки посівів (рослини не конкурують між собою за світло та вологу);
2. Вирівнювання вегетаційного індексу (всі рослини на полі дозрівають одночасно, що полегшує збирання врожаю);
3. Підвищення якісних показників зерна (наприклад, вмісту клейковини та білка в пшениці) завдяки своєчасному та точному азотному живленню.

Окрім цього, використання постійних технологічних колій (Controlled Traffic Farming — CTF), які створюються за допомогою високоточної GPS-навігації, дозволяє техніці рухатися з року в рік по одних і тих самих слідах [2]. Це захищає до 80% площі поля від переущільнення ґрунту колесами важких машин, покращуючи аерацію та водний баланс кореневої системирослин. Сучасне сільське господарство зазнає значного тиску з боку екологічних організацій через надмірну хімізацію. Навігаційні технології виступають потужним інструментом екологізації виробництва [3].

Функція автоматичного відключення секцій обприскувача чи сівалки на клинах полів та розворотних смугах унеможливлює повторне внесення пестицидів на вже оброблені місця. Це запобігає хімічному опіку рослин та надмірному накопиченню токсичних сполук у кінцевій продукції, диференційоване внесення азотних добрив мінімізує їхній надлишок у ґрунті. Невикористаний рослинами азот зазвичай вимиється дощами у підземні водоносні горизонти та відкриті водойми, спричиняючи їхню евтрофікацію (цвітіння та загибель аквакультури). Точне позиціонування ліквідує цю проблему [4].

Висновок. Використання навігаційних систем у сільському виробництві — це не просто модернізація парку техніки, а фундаментальна зміна філософії господарювання. Навігація формує основу для сталого розвитку аграрного сектору, гарантуючи продовольчу безпеку та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Інтеграція супутникових технологій дозволяє агробізнесу досягти синергетичного ефекту: суттєво знизити собівартість виробництва, підвищити кількісні та якісні показники врожаю й одночасно зменшити антропогенний тиск на навколишнє середовище. [3].

Список використаних джерел

1. Вечера О. М., Роговський І. Л., Пастушенко С. І. Навігаційні системи в технологіях точного землеробства. Техніка та енергетика. 2018. Т. 9, № 2. С. 133–138. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/handle/123456789/8881

2. Сацюк В. В., Дідух В. Ф., Федонюк М. А. Дослідження якісних показників прийому сигналів GNSS навігаційним обладнанням машинно-тракторних агрегатів. Сільськогосподарські машини. 2022. № 48. С. 94–99. DOI: https://doi.org/10.36910/acm.vi48.880

3. Сацюк В. В., Кірчук Р. В., Хомич С. М. Дослідження точності позиціонування машинно-тракторних агрегатів при роботі на схилах. Сільськогосподарські машини. 2023. № 49. DOI: https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1062

4. Бабій Л., Юрків М., Четвериков Б., Бурштинська Х. Точність GPS і RTK-навігації та їхній вплив на зменшення перекриттів і втрат під час польових робіт. Точне землеробство. 2025. Т. 1, № 2. DOI: https://doi.org/10.23939/pa2025.02.025

5. Гончаренко О. О., Зачепило С. В., Сівцов Ю. В., Лютий Т. Г. Застосування GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у системах управління сільськогосподарською технікою. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2026. № 28. DOI: https://doi.org/10.31359/2311.441X.2026.28.109

УДК 631.3:631.431.7

КРИТЕРІЙ ЕКСПРЕС-ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З КОЛІСНИМ РУШІЄМ

Кувачов В.П.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Постановка проблеми. Зростання маси та інтенсивності використання мобільних машин у сучасному землеробстві супроводжується збільшенням механічного навантаження на ґрунт. Особливої актуальності набуває проблема його техногенного ущільнення внаслідок проходження колісних рушіїв, через які вертикальне навантаження машини передається на обмежену площу контакту з ґрунтом.

В результаті взаємодії колеса з ґрунтом виникає контактне напруження, величина якого залежить від навантаження та площі плями контакту. Проте саме по собі контактне напруження не може однозначно характеризувати ризик ущільнення, оскільки однаковий рівень механічного впливу може мати різні наслідки залежно від фактичної механічної міцності ґрунту. Водночас використання на практиці ДСТУ 4521:2006, який встановлює гранично допустимий питомий контактний тиск ходових систем мобільних засобів на ґрунт, є обмеженим. Оскільки його визначення потребує достовірної оцінки площі плями контакту рушія з ґрунтом – параметра, що не має простого способу визначення, і, зокрема, в польових умовах практично не вимірюється, оскільки залежить від великої кількості конструктивних, експлуатаційних та ґрунтових чинників.

Отже, для об'єктивної оцінки ризику необхідно враховувати не тільки величину зовнішнього механічного впливу, а й здатність ґрунту чинити йому опір**.** Це зумовлює необхідність формування простого безрозмірного критерію, який би безпосередньо пов'язував зазначені фізичні характеристики та був придатним для оперативного інженерного оцінювання.

Аналіз останніх досліджень. Проблема взаємодії ходових систем мобільних машин із ґрунтом є одним із важливих напрямів сучасної землеробської механіки. У наукових дослідженнях основна увага приділяється визначенню навантаження на рушій, площі плями контакту, контактного тиску, механічної міцності ґрунту та характеру його деформування.

Для оцінювання механічного стану ґрунту широко застосовується конусний індекс CI, який характеризує опір ґрунту проникненню пенетрометра. Водночас контактне напруження характеризує інтенсивність механічного впливу, що передається колісним рушієм на ґрунтове середовище [1-2].

Аналіз існуючих підходів свідчить, що ці характеристики переважно використовуються окремо [1-4]. Контактне навантаження характеризує дію рушія, а конусний індекс – опір ґрунту. Проте для оцінювання ризику розвитку

незворотних деформацій принципове значення має саме співвідношення між діючим напруженням та механічною міцністю ґрунту. Тому актуальним науковим завданням є встановлення такого співвідношення у формі простого безрозмірного критерію, придатного для практичного використання.

Метою досліджень є підвищення ефективності експрес-оцінювання ущільнення ґрунту шляхом обґрунтування безрозмірного критерію оперативного оцінювання ризику ущільнення ґрунту при взаємодії з колісним рушієм мобільної машини на основі співвідношення контактного напруження та механічної міцності ґрунту.

Результати досліджень. Фізичний причинно-наслідковий зв'язок, покладений в основу запропонованого підходу, можна представити послідовністю: вертикальне навантаження рушія → площа плями контакту → контактне напруження → співвідношення з механічною міцністю ґрунту → характер його деформування → ризик ущільнення.

Контактне напруження колісного рушія визначається залежністю:

$$\sigma_k = \frac{Q}{S_k}. \quad (1)$$

де Q – вертикальне навантаження на колесо, Н;

S_k – площа плями контакту колеса з ґрунтом, м².

Однак отримана величина σ_k характеризує лише інтенсивність зовнішнього механічного впливу. Для оцінювання його потенційного впливу на ґрунт необхідно врахувати його механічну міцність. Як кількісну характеристику механічної міцності прийнято конусний індекс *CI*.

На цій основі запропоновано безрозмірний критерій оцінювання ризику ущільнення ґрунту:

$$K_{ws} = \frac{\sigma_k}{CI}. \quad (2)$$

Наукова сутність критерію K_{ws} полягає у переході від оцінювання абсолютної величини контактного навантаження до оцінювання його відповідності фактичній механічній міцності ґрунту. Таким чином, K_{ws} характеризує не просто величину впливу рушія, а співвідношення між механічним впливом і здатністю ґрунту чинити йому опір.

За K_{ws}<1 контактне напруження не перевищує визначену механічну міцність ґрунту, що відповідає переважно пружному характеру деформування. При K_{ws}>1 виникають передумови для розвитку пластичних деформацій і підвищується ризик формування залишкового ущільнення. Таким чином, значення K_{ws}=1 приймається як критеріальна межа співвідношення між механічним впливом рушія та опором ґрунту.

Практичну перевірку критерію виконано для переднього колеса трактора ХТЗ-17221. За контактного напруження σ_k=0,132 МПа значення K_{ws} визначали для різних глибин ґрунтового профілю. На глибині 2,5 см встановлено K_{ws}=1,45, тобто значення критерію перевищує одиницю. Це свідчить про наявність передумов для розвитку пластичних деформацій у поверхневому шарі ґрунту. На глибинах 5,0; 7,5 та 10,0 см значення критерію становлять відповідно 0,77; 0,58 та 0,56, що відповідає ситуації, коли механічна міцність ґрунту вже перевищує

діючий контактний тиск колеса трактора на грунт. Отримані результати свідчать про закономірне зменшення K_{ws} зі збільшенням глибини ґрунту. За незмінного контактного напруження це обумовлено зростанням механічної міцності ґрунту з глибиною. Отже, запропонований критерій дозволяє не тільки встановити наявність ризику ущільнення, а й диференційовано за глибиною визначити горизонт ґрунту, у якому виникають передумови для розвитку пластичних деформацій**.**

Наукова цінність запропонованого критерію полягає у встановленні кількісного зв'язку між двома фізично взаємопов'язаними характеристиками системи «колісний рушій – ґрунт»: механічним впливом рушія та механічною здатністю ґрунту чинити цьому впливу опір. Такий підхід створює основу для переходу від роздільного аналізу параметрів рушія і ґрунту до їх комплексного оцінювання.

Практична цінність полягає у можливості використання K_{ws} для експрес-оцінювання ризику ущільнення безпосередньо перед виконанням польових робіт. Визначення критерію не потребує складного моделювання і може ґрунтуватися на параметрах, доступних під час стандартних інженерних вимірювань: вертикальному навантаженні та площі плями контакту для визначення σ_k, а також механічній міцності ґрунту за результатами пенетрометричних вимірювань.

Практичне застосування критерію створює передумови для обґрунтованого вибору параметрів і режимів експлуатації мобільних машин – зокрема навантаження на рушій, тиску повітря в шинах та технологічного режиму руху – з урахуванням фактичного механічного стану ґрунту.

Висновки. На основі фізичного причинно-наслідкового зв'язку «навантаження рушія → площа контакту → контактне напруження → механічна міцність ґрунту → характер деформації → ризик ущільнення» обґрунтовано безрозмірний критерій K_{ws}, який принципово відрізняється від оцінювання лише абсолютної величини контактного навантаження тим, що характеризує відповідність механічного впливу фактичній міцності ґрунту.

1. Практична перевірка для переднього колеса трактора ХТЗ-17221 показала, що на глибині 2,5 см K_{ws}=1,45, що відповідає наявності передумов для пластичного деформування ґрунту. На глибинах 5,0; 7,5 та 10,0 см значення K_{ws} становлять відповідно 0,77; 0,58 та 0,56, що свідчить про відсутність ризику ущільнення ґрунту на цих глибинах.

2. Запропонований критерій K_{ws} може бути використаний як простий інженерний інструмент диференційованого за глибиною експрес-оцінювання ризику техногенного ущільнення ґрунту перед виконанням польових робіт**.**

Список використаних джерел

1. Сивулька П. Порівняльний аналіз методик агроекологічної оцінки МТА в Україні/СНД та країнах ЄС. *Вісник ЛНУП. Агроінженерні дослідження*. 2024. № 28. С. 218–226.

2. Крайник Л. В., Сивулька П. Агроекологічна оцінка машинно-тракторних агрегатів на базі WES-методики. *Вісник ЛНУП. Агроінженерні дослідження*. 2025. № 29. С. 48–56.

3. Bulgakov V., Ivanovs S., Kuvachov V. Investigation of the Influence of Permanent Traffic Lane Properties on Rolling of Bridge Agricultural Equipment Wheels. *Acta Technologica Agriculturae*, 2021. 24(2). 97–102. https://doi.org/10.2478/ata-2021-0016.

4. Nadykto V., Glowacki S., Golub G., Kyurchev V., Kuvachov V. Comparative evaluation of penetrometers with conical and cylindrical tips. *Scientific Reports*. 2026. 15 p. https://doi.org/10.1038/s41598-026-64837-6.

УДК 631.356.2.06: 635.21 (081)

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ РУХУ КОРЕНЕПЛОДУ СТОЛОВОГО БУРЯКА КРУГЛОЇ ФОРМИ ПО ПОВЕРХНІ СПІРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА

Мартинюк В.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Столовий буряк відіграє важливу роль у сільському господарстві та харчуванні людей по всьому світу. Завдяки своєму високому вмісту вітамінів, мінералів та антиоксидантів він є цінним джерелом поживних речовин. Буряк також відомий своїми корисними властивостями для здоров'я серця, травлення та імунної системи. Його використання в кулінарії різноманітне: від салатів та супів до соків та консервів. Крім того, буряк застосовується в харчовій промисловості для виробництва цукру та барвників. Важливим аспектом є також його здатність до тривалого зберігання, що робить його доступною цілий рік. У сільському господарстві буряк також використовується як корм для худоби, що доповнює його цінність у харчуванні людини та тварин.

На момент збирання столових буряків їх гичка знаходиться в полеглому вигляді. Тому технологією збирання є суцільний зріз гички і подальше викопування коренеплодів, що вимагає їх очищення від вільного та налиплого грунту, а також рослинних залишків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зазначити, що питанням очищення коренеплодів та бульб картоплі відразу після їх викопування із ґрунту присвячено цілу низку робіт [1-6]. Цей етап повинен забезпечувати високу якість збирання з мінімальними ушкодженнями коренеплодів, що дає можливість їхнього тривалого зберігання.

Найбільш відповідним очищувачем коренеплодів столового буряка від зазначених домішок може бути спіральний сепаратор. Для цього можна використовувати як прототип спіральний сепаратор [7, 8]. Експериментальні

дослідження показали, що цей сепаратор забезпечує досить високий рівень очищення за мінімальних ушкоджень коренеплодів, що знаходяться в межах агротехнічних вимог. Проте, збирання столових буряків відбувається в умовах, відмінних від збирання картоплі. До того ж має відмінність та технологічний матеріал. Тому виникає необхідність зміни технічних та технологічних характеристик вищезгаданого сепаратора [9].

З цією метою нами розроблена нова конструкція спірального сепаратора коренеплодів столового буряка, який має суттєві переваги в порівнянні з сепараторами.

Однак, для визначення раціональних конструктивних та кінематичних параметрів запропонованої нами конструкції сепаратора необхідно провести низку теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії коренеплодів столових буряків з робочими органами зазначеного сепаратора. Подібні дослідження спірального сепаратора для очищення картоплі подано у роботах [10, 11]. З цією метою складемо диференціальні рівняння руху коренеплоду столових буряків вздовж робочих органів (спіральних пружин) згаданого сепаратора. У зв'язку з цим слід зазначити, що найбільш поширеною формою коренеплоду столового буряка є кругла, тобто у вигляді кулі або трохи сплюснутого уздовж вертикальної осі еліпсоїда. Тому в математичній моделі розглянемо рух коренеплоду кулястої форми.

Розроблена математична модель дасть змогу провести чисельне моделювання з використанням ПК, тобто машинний експеримент, в результаті якого буде всебічно вивчено аналізований процес та теоретично визначено раціональні конструктивні та кінематичні параметри сепаратора з урахуванням неушкодження коренеплодів столових буряків у процесі їх очищення.

Мета досліджень. Визначення конструктивних та кінематичних параметрів удосконаленої конструкції спірального сепаратора коренеплодів столових буряків, які забезпечують якісне очищення коренеплодів від ґрунтових домішок та рослинних залишків на підставі розробки математичної моделі переміщення коренеплоду по робочій поверхні сепаратора.

Результати досліджень. Побудовано математичну модель переміщення коренеплоду столового буряка вздовж робочого русла розробленої нами нової конструкції спірального сепаратора, оскільки при такому переміщенні якраз і відбувається очищення коренеплодів від зазначених домішок. На підставі розробленої в цій статті еквівалентної схеми складено систему диференціальних рівнянь руху коренеплоду столового буряка по поверхні робочого русла спірального сепаратора. Рішення отриманої системи диференціальних рівнянь на ПК дає можливість досліджувати вплив конструктивних та кінематичних параметрів сепаратора на швидкість переміщення коренеплоду в робочому руслі до сходу зі спіралей. Визначені таким чином конструктивні та кінематичні параметри забезпечать підвищення якості очищення коренеплодів столового буряка від ґрунтових домішок та рослинних решток.

Висновки

1. Отримано систему диференціальних рівнянь руху коренеплоду столових буряків уздовж робочого русла спірального сепаратора, на підставі якої можна розрахунковим способом за допомогою ПК визначати раціональні конструктивні параметри та кінематичні режими роботи зазначеного сепаратора.

2. В результаті розв'язання системи диференціальних рівнянь на ПК будуть отримані графічні залежності впливу кінематичних параметрів сепаратора на швидкість переміщення коренеплодів уздовж робочого русла.

Список використаних джерел

1. Misener, G.C. & McLeod, C.D. separation. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia,* Africa and Latin America, 1989. Vol. 20(2), pp. 33–36.

2. Peters, R. Damage of potato tubers: A Review. *Potato Research*, 1997. Vol. 39, Spec. Issue, pp. 479–484.

3. Veerman, A. & Wustman, R. Present state and future prospects of potato storage technology. *Potato in Progress: Science Meets Practice, Book Chapter*, 2005, pp. 179–189.

4. Bishop, C., Rees, D., Cheema, M.U.A., Harper, G. & Stroud, G. Potatoes. *Crop PostHarvest: Science and Technology: Perishables. Book Chapter*, 2012, pp. 179–189.

5. Ichiki, H., Nguyen Van, N. & Yoshinaga, K. Stone-clod separation and its application to potato in Hokkaido. *Engineering in AgricultureEnvironment and Food*. 2013. Vol. 6(2), pp. 77–85.

6. Guo, W. & Campanella, O.H. A relaxation model based on the application of fractional calculus for describing the viscoelastic behavior of potato tubers. *Transactions of the ASABE*. 2017. Vol. 60(1), pp. 259–264.

7. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z. & Olt, J. Theory of retaining potato bodies during operation of spiral separator. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16(1), pp. 41–51. doi: 10.15159/AR.18.036

8. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z. & Olt, J. Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16(1), pp. 52–64. doi: 10.15159/AR.18.037.

9. Feller, R., Margolin, E., Hetzroni, A. & Galili, N. Impingement angle and product interference effects on clod separation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 1987. Vol. 30(2), pp. 357–360.

10. Bulgakov, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V. & Ihnatiev, Y. Investigation of the parameters of the experimental spiral potato heap separator on the quality of work. *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15(1), pp. 44–54.

11. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z. & Olt, J. Mathematical model of cleaning potatoes on surface of spiral separator. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16(4), pp. 1590–1606. doi: 10.15159/AR.18.173.

12. Vasilenko, P.M. Introduction to agricultural mechanics. Kiev, *Agricultural Education*. 1996. 252 pp.

13. Булгаков В. М., Смолінський С. В. Синтез спіральних сепараторів картоплезбиральних машин. *Київ: ЦП "КОМПРИНТ"*. 2017. 223с.

УДК 631.356.2.06: 635.21 (081)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСТКИ КОРЕНЕПЛОДІВ СТОЛОВОЇ МОРКВИ СПІРАЛЬНИМ ОЧИСНИКОМ

Мацуєв О.М.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

Постановка проблеми. Одним із ключових етапів технологічного процесу збирання коренеплодів моркви є їх очищення від ґрунтових і рослинних домішок безпосередньо після викопування з ґрунту. Реалізація цього етапу має забезпечувати високу якість зібраної продукції із забезпеченням мінімального пошкодження, що підвищує якість зібраного урожаю даної овочевої культури.

Показники якості виконання цього технологічного процесу залежать від ряду факторів, серед яких важливе місце займають агрофізичні характеристики плодів моркви. До числа важливих агрофізичних характеристик і властивостей коренеплодів, потрібних для розроблення робочих органів, схем компоновок машин і оптимальних параметрів технологічних процесів, відносяться розмірні, масові та механічні характеристики плодів моркви, їхніх окремих біологічних частин, розташування в рядках та інші показники.

Завдяки тому, що здебільшого коренеплоди моркви мають форму подовженого циліндру та біологічний матеріал, що утворює саму моркву, дуже крихкий, то технологічний процес очищення моркви у вигляді купи вороху є складним.

Тому удосконалення спірального очисника для очищення коренеплодів моркви від ґрунтових домішок і рослинних решток є важливою актуальною науково–технічною проблемою при вирощуванні овочевих культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час проведення досліджень встановлено, що роздільний спосіб механізованого збирання коренеплодів моркви потребує забезпечення ефективного очищення викопаного вороху від ґрунтових домішок і рослинних решток. Для цього можуть бути використані очисники різних конструктивних виконань. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень процесів викопування та очищення коренеплодів цукрових буряків, наведений у роботах [1-3], свідчить про можливість використання отриманих наукових положень як основи для вдосконалення технологічного процесу очищення коренеплодів моркви.

Із проведеного аналізу існуючих конструкцій очисних пристроїв встановлено, що одним із найбільш перспективних засобів очищення коренеплодів моркви від ґрунтових домішок і рослинних решток є спіральний сепаратор. Як основну конструкцію – прототип може бути використано спіральний сепаратор [4]. Результати експериментальних досліджень підтвердили, що зазначений сепаратор забезпечує високий ступінь очищення коренеплодів за мінімального рівня їх механічного пошкодження, що відповідає

встановленим агротехнічним вимогам [5, 6]. Водночас умови механізованого збирання моркви істотно відрізняються від умов збирання картоплі, що обумовлює необхідність удосконалення конструктивних параметрів і технологічних режимів роботи зазначеного сепаратора [7].

Разом із тим існуючі методики визначення ступеня пошкодження коренеплодів та ефективності їх сепарації робочими органами збиральних машин характеризуються значною трудомісткістю й можуть застосовуватися переважно в період збирання врожаю. Це суттєво обмежує можливості проведення пошукових і конструкторських досліджень, спрямованих на підвищення технічного рівня нових машин [8, 9]. Лабораторні методики, що використовуються для оцінювання роботи окремих робочих органів, не забезпечують комплексної оцінки процесів функціонування машини в цілому та придатні переважно для порівняльного аналізу ступеня пошкодження і якості сепарації коренеплодів [10, 11].

Проведений аналіз наукових досліджень показав, що проблема забезпечення високоякісного очищення коренеплодів моркви під час механізованого збирання залишається не в повній мірі вирішеною, що обґрунтовує необхідність подальших досліджень, спрямованих на вдосконалення конструкції та режимів роботи спіральних очисників.

Мета досліджень. Забезпечення високого ступеня очистки столової моркви від грунтових домішок, шляхом удосконалення спірального очисника.

Результати досліджень. Розроблено конструкційну схему та виготовлено експериментальну установку для дослідження впливу кінематичних, конструктивних та експлуатаційних параметрів удосконаленого очисника вороху моркви від ґрунтових домішок та рослинних рештків на якість виконання технологічного процесу очистки коренеплодів. Розроблена лабораторна установка для очищення коренеплодів моркви дозволить провести експериментальні дослідження з визначення показників якості очищення коренеплодів, тобто кількості відділеного та налиплого ґрунту під час очищення моркви в робочому руслі очисника.

Висновки

1. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень показників, що характеризують якість роботи очисника, тобто кількість налиплого та відділеного ґрунту при очищенні вороху моркви від ґрунтових домішок та рослинних решток, що дасть спроможність установити вплив незалежних факторів.

2. За результатами порівняльних експериментів досліджень впливу виду потрапляння коренеплоду моркви на очисне русло очисника дасть можливість встановити випадок руху моркви, при якому спостерігається найвища якість очищення.

Список використаних джерел

1. Ivanišová E., Granátová L., Čech M., Grygorieva O. & Kubiak P. (2024). The influence of red beet varieties and cultivation on their biochemical and sensory profile.

Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. DOI: e10612. 10.55251/jmbfs.10612.

2. Issa, I. I. M., Zhang, Z., El-Kolaly, W., Yang, X., – Wang, H. (2020). Design, ANSYS analysis and performance evaluation of potato digger harvester. In International Agricultural Engineering Journal, vol. 29, no. 1, pp. 60–73.

3. Guo, W., & Campanella, O. H. (2017). A relaxation model based on the application of fractional calculus for describing the viscoelastic behavior of potato tubers. Transactions of the ASABE, 60 (1), 259–264.

4. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z., & Olt, J. (2018). Theory of retaining potato bodies during operation of spiral separator. Agronomy Research, 16 (1), 41–51. doi: 10.15159/AR.18.036.

5. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z., & Olt, J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. Agronomy Research, 16 (1), 52–64. doi: 10.15159/AR.18.037.

6. Hoffmann C., Engelhardt M., Gallmeier M., Gruber M. & Märländer B. (2018). Importance of harvesting system and variety for storage losses of sugar beet. Zuckerindustrie. Sugar industry, 143. 474. DOI: 10.36961/si19782.

7. Olt, J., Bulgakov, V., Trokhaniak, O., Klendii, M., Gadzalo, I. A., Ptashnik, M., & Tkachenko, M. (2022). Harrow with screw-type operating tools: Optimisation of design and process parameters. Agronomy Research, 20 (4), 751–763.

8. Bulgakov, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V., & Ihnatiev, Y. (2017). Investigation of the parameters of the experimental spiral potato heap separator on the quality of work. Agronomy Research, 15 (1), 44–54.

9. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Ruzhylo, Z., & Olt, J. (2018). Mathematical model of cleaning potatoes on surface of spiral separator. Agronomy Research, 16 (4), 1590–1606. doi: 10.15159/AR.18.173.11.

10. Jin Xin, Du Xinwu, Wang Shiguang, Ji Jiangtao, Dong Xiang, & Wang Dongyang. (2016). Design and Experiment of Stems Cutting Device for Carrot Harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, vol. 47 (3), 82–89.

11. Hevko, R. B., Tkachenko, I. G., Khomyk, N. I., Gumeniuk, Y. P., Flonts, I. V., Gumeniuk, O. O. (2020). Determination of technical-and-economic indices of root crop conveyer-separator during their motion on curved path. INMATEH-Agricultural Engineering, 61(2), pp. 175-182.

УДК 631.3.06

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМБІНОВАНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ

Міненко С.В., Гетьман В.О.
Поліський національний університет

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує одночасного підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів, скорочення енергетичних і матеріальних витрат та зменшення негативного техногенного впливу на ґрунт. Традиційні технології передпосівного обробітку часто передбачають декілька послідовних проходів різних машин, що збільшує витрати пального, тривалість польових робіт і ущільнення ґрунту. Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які забезпечують виконання декількох технологічних операцій за один прохід [1, 2]. Одним із основних напрямів розвитку таких машин є підвищення їх універсальності та модульності. Перспективна конструкція повинна забезпечувати можливість зміни складу і взаємного розташування робочих органів залежно від типу та вологості ґрунту, кількості рослинних решток, попередника, культури і необхідної глибини обробітку. На одній рамі можуть поєднуватися дискові робочі органи, лапи-глибокорозпушувачі, стрілчасті лапи, вирівнювальні пристрої, борони та котки. Модульний принцип дозволяє адаптувати агрегат до конкретних умов експлуатації та зменшити потребу в декількох спеціалізованих машинах.

Перспективним є також поєднання обробітку ґрунту із внесенням добрив і сівбою. Сучасні комбіновані ґрунтообробно-посівні машини можуть за один прохід виконувати розпушування, подрібнення рослинних решток, вирівнювання поверхні, формування посівного ложа, внесення добрив, висів насіння та прикочування [3]. Це особливо актуально в умовах скорочення оптимальних агротехнічних строків виконання польових операцій і зростання вартості енергоресурсів.

Важливим напрямом є адаптація комбінованих агрегатів до мінімального, консервувального та смугового обробітку ґрунту. Замість інтенсивного суцільного перемішування ґрунтового шару перспективні машини повинні забезпечувати диференційований вплив на ґрунт. За технології Strip-till в одному проході можуть поєднуватися розрізання рослинних решток, смугове розпушування, локальне внесення добрив і формування посівного ложа. Такий підхід сприяє збереженню ґрунтової вологи, зменшенню ерозійних процесів та скороченню енергетичних витрат.

Особливе значення має зниження тягового опору та питомої енергоємності комбінованих агрегатів. Цього можна досягти шляхом оптимізації геометричних параметрів робочих органів, кутів їх установлення, глибини обробітку та взаємного розташування. Перспективним є поєднання активних і пасивних робочих органів. Дослідження показують, що раціональна їх комбінація створює передумови для зниження тягового опору, буксування рушіїв та енергетичних витрат [2].

Водночас підвищення ефективності комбінованих агрегатів неможливе без забезпечення довговічності та зносостійкості робочих органів. Їх зношування призводить до зміни геометричних параметрів, збільшення тягового опору, погіршення якості обробітку та зростання витрат пального. Дослідження К. В. Борака свідчать, що інтенсивність зношування робочих органів залежить від властивостей матеріалу, конструктивних параметрів, вологості та гранулометричного складу ґрунту, режимів роботи й інших експлуатаційних факторів [6–9].

Важливим завданням є забезпечення рівностійкого зношування та самозагострювання різальних елементів. Збереження раціональної форми леза в процесі експлуатації дозволяє стабілізувати якість виконання технологічного процесу та тяговий опір агрегату. За результатами досліджень К. В. Борака, забезпечення рівностійкості зношування зміцнених робочих органів дає можливість збільшити їх ресурс і зменшити енергетичні витрати [7]. Тому перспективним є застосування локального зміцнення найбільш навантажених ділянок, зносостійких покриттів, диференційованої твердості та конструктивних рішень, які забезпечують ефект самозагострювання.

Подальший розвиток комбінованих агрегатів пов’язаний з автоматичним та адаптивним регулюванням параметрів роботи. Перспективна машина повинна змінювати режим роботи залежно від фактичного стану ґрунту. Для цього можуть використовуватися датчики тягового опору, вологості та твердості ґрунту, глибини обробітку, швидкості руху і буксування трактора. Отримана інформація може використовуватися електронною системою керування для автоматичної зміни глибини розпушування, притискного зусилля або режиму роботи окремих секцій агрегату.

Наступним етапом є інтелектуалізація комбінованих ґрунтообробних машин із застосуванням технологій точного землеробства, супутникового позиціонування, геоінформаційних систем, машинного зору та штучного інтелекту. Агрегат повинен враховувати просторову неоднорідність властивостей поля та змінювати інтенсивність обробітку відповідно до фактичної потреби. На ділянках із підвищеною щільністю ґрунту система може збільшувати глибину розпушування, а на ділянках з оптимальними показниками – зменшувати механічний вплив. Використання електронних карт поля та карт-завдань створює передумови для реалізації диференційованого обробітку ґрунту.

Важливим напрямом є також секційність конструкції та індивідуальне керування робочими органами. За наявності GNSS-навігації окремі секції можуть автоматично підніматися на вже оброблених ділянках, що зменшує повторний обробіток, непродуктивні витрати енергії та руйнування структури ґрунту. У перспективі застосування електричних та електрогідравлічних приводів дозволить реалізувати принцип «обробіток за потребою».

Розвиток комбінованих агрегатів повинен також передбачати підвищення їх екологічної ефективності. Зменшення кількості проходів техніки полем сприяє скороченню ущільнення ґрунту, витрат дизельного пального та відповідних викидів [4]. Водночас перспективні конструкції повинні забезпечувати збереження рослинних решток на поверхні, мінімальне руйнування структури ґрунту та скорочення непродуктивних втрат вологи.

Таким чином, перспективний розвиток комбінованих ґрунтообробних агрегатів має базуватися на переході від механічного поєднання окремих робочих органів до створення адаптивних багатофункціональних мехатронних систем. Основними напрямами є підвищення модульності й універсальності конструкцій, інтеграція обробітку ґрунту із сівбою та внесенням добрив, адаптація до мінімального і смугового обробітку, зниження тягового опору, підвищення зносостійкості та забезпечення самозагострювання робочих органів. Важливу роль відіграватимуть автоматичне регулювання параметрів роботи, GNSS-технології, датчики стану ґрунту, електронні карти та алгоритми штучного інтелекту. Реалізація зазначених напрямів дозволить зменшити енергетичні та матеріальні витрати, підвищити продуктивність агрегатів і забезпечити стабільну якість обробітку ґрунту.

Список використаних джерел

1. Prem M., Swarnkar R., Vyas D. K., Pargi S. J., Khodifad B. C. Combined tillage tools – a review. Current Agriculture Research Journal. 2016. Vol. 4, No. 2. P. 179–185. DOI: 10.12944/CARJ.4.2.07.

2. Sarkar P., Upadhyay G., Raheman H. Active-passive and passive-passive configurations of combined tillage implements for improved tillage and tractive performance: a review. Spanish Journal of Agricultural Research. 2021. Vol. 19, No. 4. e02R01. DOI: 10.5424/sjar/2021194-18387.

3. Yang H., Wang Q., He J. et al. Current status and future directions for combined tillage and sowing technology and equipment. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 24. 11707. DOI: 10.3390/app142411707.

4. Maheshwari R., Meena S. S., Maurya N. Combi tillage implements for enhancing soil health: a comprehensive review. Ecology, Environment and Conservation. 2026. Vol. 32, July Suppl. Issue. P. S71–S79.

5. Perdok U. D., Kouwenhoven J. K. Soil-tool interactions and field performance of implements. Soil and Tillage Research. 1994. Vol. 30, Issues 2–4. P. 283–326. DOI: 10.1016/0167-1987(94)90008-6.

6. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра техн. наук : 05.05.11. Київ, 2021. 380 с.

7. Борак К. В. Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2022. № 1. С. 19–30. DOI: 10.31649/2307-5376-2022-1-19-30.

8. Borak K. V. Improvement of total running time and wear resistance of tillage tools. Machinery & Energetics. 2020. Vol. 11, No. 3. P. 67–73. DOI: 10.31548/machenergy2020.03.067.

9. Borak K. V. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Problems of Tribology. 2020. Vol. 25, No. 2/96. P. 34–41. DOI: 10.31891/2079-1372-2020-96-2-34-41.

УДК 631.372:631.43

ВПЛИВ БУКСУВАННЯ КОЛІС ТРАКТОРА НА СТАН ҐРУНТУ

Налобіна О.О., Голотюк М.В.
Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Під час виконання польових сільськогосподарських робіт ходова система трактора безпосередньо взаємодіє з ґрунтом, змінюючи його фізико-механічний стан. Одним із важливих показників такої взаємодії є буксування ведучих коліс. У разі недостатнього зчеплення рушія з опорною поверхнею частина енергії, що підводиться до ведучих коліс, витрачається не на поступальний рух машинно-тракторного агрегату, а на деформацію та переміщення ґрунту. У зоні контакту шини виникають вертикальні й дотичні напруження, відбувається руйнування ґрунтових агрегатів та формується колія. Особливо інтенсивно негативні процеси проявляються за підвищеної вологості ґрунту, коли знижується його несуча здатність.

Надмірне буксування не тільки погіршує стан ґрунту, але й призводить до зниження продуктивності агрегату та збільшення непродуктивних витрат енергії. Тому дослідження впливу буксування ведучих коліс на стан ґрунту є важливим завданням під час обґрунтування раціональних режимів експлуатації сільськогосподарських тракторів.

Аналіз останніх досліджень. Питання взаємодії ведучих коліс трактора з ґрунтовою поверхнею розглянуто Є.І. Калініним, В.А. Жиліним, Р.М. Петровим та Ю.І. Колєснік [1]. Авторами встановлено, що під час прямолінійного руху колісного трактора задні колеса переміщуються по колії, попередньо сформованій передніми колесами. При цьому ступінь ущільнення ґрунту залежить від його фізико-механічних властивостей, розмірів коліс і вагового навантаження. Зміна розподілу навантаження між осями впливає як на ущільнення опорної поверхні, так і на тягові властивості ведучих коліс.

В.М. Зубко [2] дослідив технологічні параметри сучасних ходових систем машинних агрегатів. Автором визначено залежності коефіцієнтів опору перекочуванню, зчеплення та буксування колісних і гусеничних рушіїв від твердості та стану ґрунтової поверхні. Отримані результати свідчать про необхідність узгодження характеристик ходової системи з фактичними умовами виконання польових робіт. Важливим напрямом досліджень залишається також оцінювання контактних напружень, які виникають у системі «шина–ґрунт» і визначають інтенсивність деформації та ущільнення ґрунту [3].

Мета досліджень. Метою дослідження є оцінка впливу буксування ведучих коліс сільськогосподарського трактора на фізико-механічний стан ґрунту та визначення основних напрямів зменшення негативного впливу ходової системи під час виконання польових робіт.

Результати досліджень. Буксування ведучого колеса виникає внаслідок різниці між його теоретичною швидкістю, визначеною за кутовою швидкістю та

радіусом кочення, і фактичною поступальною швидкістю трактора. Для реалізації тягового зусилля протектор шини взаємодіє з ґрунтом, викликаючи його деформацію. За збільшення тягового навантаження інтенсивність цієї деформації зростає.

Під час руху трактора передні колеса формують колію та попередньо ущільнюють опорну поверхню. Задні ведучі колеса рухаються вже по зміненому ґрунтовому середовищу. Дослідження показують, що характер такого попереднього ущільнення впливає на тягові можливості задніх коліс. Важливим при цьому є правильний розподіл вагового навантаження між осями. Найбільше сумарне тягове зусилля двох ведучих коліс, що рухаються по одному сліду, досягається за однакових вагових навантажень на них.

Зі збільшенням буксування посилюється горизонтальне переміщення частинок ґрунту під протектором. Верхній шар ґрунту деформується, частина структурних агрегатів руйнується, а колесо поступово заглиблюється з утворенням колії. При повторному проходженні трактора одним слідом деформація може поширюватися на глибші горизонти.

Суттєвий вплив на величину буксування має стан опорної поверхні. За результатами досліджень, коефіцієнти зчеплення, опору перекочуванню та буксування ходових систем змінюються залежно від твердості ґрунту та агрофону. Отже, однаковий тракторний агрегат на різних полях або за різної вологості ґрунту може характеризуватися різними тяговими показниками.

Зменшення негативного впливу буксування можливе завдяки раціональному комплектуванню машинно-тракторного агрегату, правильному баластуванню трактора, вибору відповідного швидкісного режиму та регулюванню тиску повітря в шинах. Збільшення площі контакту рушія з поверхнею сприяє більш рівномірному розподілу навантаження та зменшенню контактних напружень. Водночас важливо уникати виконання важких польових операцій за надмірної вологості ґрунту.

Величину буксування доцільно розглядати не лише як тягово-енергетичний показник роботи трактора, але й як характеристику його механічного впливу на ґрунтове середовище. Контроль буксування та адаптація параметрів ходової системи до стану поля дають змогу одночасно підвищувати ефективність використання трактора та зменшувати негативний вплив на ґрунт.

Висновок. Буксування ведучих коліс трактора безпосередньо пов'язане з деформацією опорної поверхні та зміною фізико-механічного стану ґрунту. Зі збільшенням буксування посилюється зсув частинок, руйнування ґрунтових агрегатів та утворення колії. Інтенсивність цих процесів залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, його вологості, навантаження на колеса та параметрів ходової системи. Зменшення негативного впливу можливе шляхом раціонального розподілу навантаження між осями, вибору відповідного режиму руху, регулювання тиску в шинах та недопущення надмірного буксування.

Список використаних джерел

1. Калінін Є. І., Жилін В. А., Петров Р. М., Колєснік Ю. І. Тягові якості ведучих коліс під час кочення їх по одному сліду. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*. 2021. № 1. С. 43–51.

2. Зубко В. М. Обґрунтування та вибір енергетичних засобів для агрегатування агромашин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*. 2021. № 2. С. 43–50.

3. Kukharets S., Zabrodskyi A., Sheludchenko B., Jasinskas A., Domeika R., Šarauskis E. Assessment of changes in soil contact stress depending on tractor tire parameters. Scientific Reports. 2025.

УДК 631.3(477)(091)

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ В УКРАЇНІ

Опара Н.М.

Полтавський державний аграрний університет

Історія розвитку землеробської механіки в Україні – це шлях від практичного вдосконалення традиційного реманенту до створення фундаментальних математичних теорій взаємодії робочих органів машин із ґрунтом і рослинами.

Українські вчені та інженери зробили визначальний внесок у становлення цієї дисципліни як самостійної галузі технічних наук.

Розрізняють три етапи історії розвитку землеробської механіки в Україні.

Перший етап – друга половина XIX – початок XX століття. Зародження та перші випробування.

У цей період відбувається перехід від ремісничого виготовлення знарядь до науково-обґрунтованого проектування сільськогосподарських машин.

Перший етап умовно можна поділити на два напрямки.

Перший напрямок – роль аграрних шкіл.

Важливим осередком інженерної думки стала рільнича школа в Дублянах (Львівщина), де у другій половині XIX ст. професор Томаш Рильський заклав основи викладання дисципліни.

Другий напрямок – теорія випробувань

Наприкінці XIX століття в Україні починають активно формуватися теоретичні основи випробувань землеробської техніки. Це дозволило оцінювати якість і продуктивність молотарок, плугів, сівалок не «на око», а за допомогою вимірювальних приладів і математичних розрахунків.

Базою для цього стали праці засновника всієї інженерної аграрної науки В.П. Горячкіна.

Другий етап – радянський період (XX століття).

Розквіт та формування наукових шкіл. У середині XX століття Україна перетворилася на один із головних науково-дослідних та виробничих центрів сільгоспмашинобудування в СРСР. Цей етап пов'язаний із діяльністю видатних українських академіків.

Василенко Андрій Овер'янович (23.10 (4.11) 1891 – 05.07.1963) – видатний вчений у галузі сільськогосподарського машинобудування, чиї праці заклали основу для проєктування вітчизняних ґрунтообробних агрегатів та комбайнів.

Андрій Овер'янович здобув визнання як один із провідних фахівців аграрного машинобудування свого часу. Академік Академії наук Української РСР, професор доктор сільськогосподарських наук (науковий ступінь присуджено без захисту дисертації за сукупність наукових досягнень), член-кореспондент АН УРСР, доктор технічних наук.

Наукова діяльність А.О. Василенка була тісно пов'язана з розробкою та вдосконаленням техніки для сільського господарства. Його дослідження та конструкторські рішення значно вплинули на механізацію процесів буряківництва та обробки ґрунту.

Вчений розробляв нові типи сільськогосподарських машин, зокрема знаряддя для точного висіву цукрових буряків, комбайни, культиватори. Працював над динамікою сільськогосподарських агрегатів, фізико-механічними властивостями сільськогосподарських матеріалів, теорією різання ґрунту.

Протягом багатьох років Андрій Овер'янович працював у науково-дослідних інститутах системи Академії наук УРСР та профільних установах землеробської механіки.

Автор близько 150 наукових праць. Він підготував понад 35 кандидатів технічних наук, одного доктора сільськогосподарських наук.

У місті Київ на честь академіка встановлено меморіальну дошку на будівлі інституту, де він тривалий час плідно працював. Його внесок в розвиток української науки зафіксовано у фундаментальних виданнях, таких як Енциклопедія сучасної України та ресурсах Національної академії наук України.

Василенко Петро Мефодійович 17.10.1900 – 21.04.1999) – фундатор української школи землеробської механіки, видатний український науковець у галузі машинобудування, патріарх та корифей вітчизняної землеробської механіки. Він присвятив своє життя розробці теорії та методів розрахунку сільськогосподарських машин, ставши доктором технічних наук, професором, академіком Української академії аграрних наук (УААН), ВАСГНІЛ та членом-кореспондентом Національної академії наук України. Його дослідження динаміки взаємодії робочих органів машин із середовищем стали класичними. Він наполягав на глибокій фізико-математичній підготовці інженерів, що вивело українську науку на світовий рівень.

Основні дослідження вченого присвячені теорії руху часток по шорстких поверхнях робочих органів машин, а також динаміці й стійкості руху сільськогосподарських агрегатів. Він написав понад 200 наукових праць та низку фундаментальних монографій (в т.ч. 8 монографій і 4 брошури), серед яких класичні праці «Культиватори» та «Теорія руху частинки по шорстких

поверхнях сільськогосподарських машин». Праці науковця видавалися у Болгарії, Китаї, Румунії, Словаччині, Франції. Монографія «Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства» є складовою частиною книг міжнародного фонду ООН, за змістом яких оцінювали рівень автоматизації сільського господарства в різних країнах світу. Американські вчені при розробці «Лунохода» користувалися працею П.М. Василенка «Теория качения колеса со следом».

Своїми працями Петро Мефодійович зробив значний внесок у розв'язання низки важливих і складних технічних проблем механізації сільського господарства. Це створення перших конструкцій точних сівалок СТСН-12, ССТ-12, СУПН-8, відцентрових тукорозкидачів, комплексу бурякозбиральних машин КС-6 БМ-6, нових ультрамалооб'ємних обприскувачів, ротаційних культиваторів.

Погорілий Леонід Володимирович (13.09.1934 – 26.09.2003) – академік, який очолив випробування, прогнозування та сертифікацію нової техніки.

Леонід Володимирович – видатний український вчений, доктор технічних наук, професор, академік Української академії аграрних наук, чиє ім'я носить відомий державний інститут машиновипробувань в Україні, заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, член Асоціації сільськогосподарських інженерів США (ASAE).

У 2003 році Кабінет Міністрів України присвоїв його ім'я установі, яку він очолював – тепер це ДНУ «Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого» (Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки для сільськогосподарського виробництва). В смт Дослідницьке інститут продовжує розвивати наукові підходи, закладені академіком.

Леонід Володимирович присвятив понад 45 років свого життя розбудові наукової школи випробувачів аграрної техніки.

Сферою діяльності вченого було сільгоспмашинобудування, механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва. Він є фундатором системного підходу до методології випробувань сільськогосподарської техніки в Україні. Вчений протягом тривалого часу очолював провідні науков-дослідні інститути _ ВНГВМЩГ, УкрЦВТ та УкрНДІВПТ.

Вчений залишив після себе значний доробок наукових здобутків, який налічує близько 500 наукових праць, серед яких понад 40 книг і монографій, 50 авторських свідоцтв та патентів на винахід.

Третій етап – сучасний та інновації.

Сьогодні українська землеробська механіка адаптується до вимог точного та цифрового землеробства.

Ключовими напрямами досліджень є:

1. Адаптивні технології.

Застосування 3D-друку для швидкого моделювання та виготовлення зносостійких елементів робочих органів.

2. Енергетична стратегія.

Проєктування комбінованих та широкозахватних агрегатів для зменшення паливних витрат і збереження структури ґрунту (мінімальний обробіток ґрунту).

3. Автоматизація та смарт-технології.

Інтеграція GPS – навігації, безпілотних систем та сенсорів у роботу машинно-тракторних агрегатів.

Наукові традиції продовжують розвиватися на щорічних міжнародних конференціях «Сучасні проблеми землеробської механізації», які об'єднують провідні заклади освіти , такі як НУБіП України.

У 2015 році в Харкові побачила світ монографія Кривоконь Олександра Григоровича «Тракторобудування в Україні: передумови, історія та тенденції розвитку в аспекті світового прогресу (20-ті-80-ті рр ХХ сторіччя).

Українські вчені продовжують працювати на перспективу і досягають нових висот в розвитку землеробської механіки.

Список використаних джерел

1. Ніколаєнко С.М., Булгаков В.М., Войтюк Д.Г., Адамчук В.В., Тіщенко Л.М. Академік Василенко Петро Мефодійович - корифей землеробської механіки в Україні: монографія; за заг. ред. С.М. Ніколаєнка. Київ: Аграр. наука, 2015.264 с.

2. Історики аграрної науки, освіти та техніки в Україні /ННСГБ НААН; голов. ред. В.А. Вергунов. Київ: Аграрна наука, 2021. – (Серія бібліографічних видань про внесок науковців в історію техніки)

УДК 631.372; 631.334

ОЦІНЮВАННЯ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ МЕЗ-115 «АВТОТРАКТОР» У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Погорілий С. П., Мірний В. Ю.
Інститут механіки та автоматики
агропромислового виробництва НААН України

Постановка проблеми. Сучасний розвиток землеробської механіки потребує технічних рішень, спрямованих на підвищення універсальності, мобільності та ефективності енергетичних засобів. Одним із перспективних напрямів є створення багатофункціональних машин автомобільного типу, здатних поєднувати транспортні й технологічні операції. До них належить розроблений в ІМА АПВ НААН мобільний енергетичний засіб МЕЗ-115 «Автотрактор» з колісною формулою 4×4 та потужністю двигуна 88,3 кВт. Ефективність його використання у складі сільськогосподарських агрегатів значною мірою визначається здатністю реалізовувати необхідне тягове зусилля за допустимого

буксування ведучих коліс. Тому актуальним є експериментальне оцінювання тягових властивостей МЕЗ-115 безпосередньо на ґрунтовій поверхні.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність реалізації тягового потенціалу колісних енергетичних засобів визначається комплексом конструктивних та експлуатаційних чинників. Kim et al. [1] встановили істотний вплив фізико-механічного стану ґрунту на тягові показники трактора. Roşca et al. [2] показали важливість урахування взаємодії сільськогосподарської шини з ґрунтом під час оцінювання тягового зусилля та буксування. Вплив баластування на ефективність реалізації тягового потенціалу досліджено Kumar et al. [3]. Попередні дослідження МЕЗ-115 були спрямовані на обґрунтування його конструктивних параметрів та визначення тягових характеристик на твердому покритті [4, 5]. Водночас для оцінювання перспектив застосування такого енергетичного засобу в землеробській механіці необхідне визначення його тягово-зчіпних властивостей у польових умовах.

Мета досліджень. Експериментально визначити тягово-зчіпні та тягово-швидкісні характеристики МЕЗ-115 «Автотрактор» на дискованій стерні пшениці та оцінити вплив баластування і режиму роботи трансмісії на реалізацію його тягового потенціалу.

Результати досліджень. Польові експериментальні дослідження проводили на дискованій стерні пшениці. Початкова маса МЕЗ-115 становила 3410 кг. Для оцінювання впливу зчіпної маси її збільшували до 4880 кг шляхом баластування. У процесі випробувань реєстрували тягове зусилля, фактичну швидкість руху та коефіцієнт буксування ведучих коліс. Кожний режим досліджували у трьох повторностях із реєстрацією 100 вимірювань у кожній повторності.

Встановлено нелінійний характер залежності коефіцієнта буксування від тягового зусилля. За маси 3410 кг при тяговому зусиллі до 6 кН коефіцієнт буксування не перевищував 5 %. Зі збільшенням тягового зусилля до 10–12 кН він зростав до 10-15 %, а при 14-17 кН – до 45–65 %, що характеризує наближення до межі тягово-зчіпних можливостей машини.

Збільшення маси МЕЗ-115 до 4880 кг забезпечило покращення тягово-зчіпних показників. За тягового зусилля до 6 кН коефіцієнт буксування становив 0–3 %, у діапазоні 8–14 кН – 5–15 %. При цьому енергетичний засіб реалізовував тягове зусилля до 20–22 кН, за якого буксування становило 35-40 %. Отже, збільшення зчіпної маси розширює діапазон тягових навантажень, які можуть бути реалізовані МЕЗ-115 у польових умовах.

Встановлено також вплив режиму трансмісії на тягово-швидкісні характеристики. На першій передачі початкова швидкість становила близько 2,1 м/с; при тяговому зусиллі 6–8 кН вона знижувалася до 1,8–1,9 м/с, а при 12–16 кН – до 1,1–1,3 м/с. На другій передачі початкова швидкість становила 3,6–3,7 м/с, проте зі збільшенням тягового зусилля до 10 кН знижувалася приблизно до 2,0 м/с, після чого подальшого збільшення тягового зусилля не спостерігалося. Таким чином, перша передача забезпечує реалізацію підвищеного тягового навантаження, тоді як друга – вищу швидкість руху за меншого тягового опору.

Висновки. Польові дослідження підтвердили можливість ефективної реалізації тягового потенціалу МЕЗ-115 «Автотрактор» на деформованій ґрунтовій поверхні. За маси 3410 кг інтенсивне збільшення буксування спостерігається при тяговому зусиллі 14-17 кН. Баластування зі збільшенням маси до 4880 кг дає змогу розширити діапазон реалізованого тягового зусилля до 20–22 кН. Вибір передачі доцільно здійснювати з урахуванням необхідного тягового зусилля та швидкості технологічної операції: перша передача є раціональною за підвищеного тягового навантаження, друга – за меншого тягового опору та потреби у вищій швидкості. Отримані результати підтверджують перспективність подальшого дослідження й удосконалення мобільних енергетичних засобів автомобільного типу як одного з напрямів розвитку сучасної землеробської механіки.

Список використаних джерел

1. Kim W.-S., Kim Y.-J., Park S.-U., Choi C.-H. Influence of soil moisture content on the traction performance of a 78-kW agricultural tractor during plow tillage. Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 207. DOI: 10.1016/j.still.2020.104851.

2. Roşca R., Cârlescu P., Ţenu I., Vlahidis V., Perşu C. The Improvement of a Traction Model for Agricultural Tire-Soil Interaction. Agriculture. 2022. Vol. 12. DOI: 10.3390/agriculture12122035.

3. Kumar S., Noori M. T., Pandey K. P. Performance Characteristics of Mode of Ballast on Energy Efficiency Indices of Agricultural Tyre in Different Terrain Condition in Controlled Soil Bin Environment. Energy. 2019. Vol. 182. P. 48–56. DOI: 10.1016/j.energy.2019.06.043.

4. Pogorilyy S. P., Prysyazhnyi V. G., Mirnyi V. Y. Justification of the parameters of technological modules for mobile energy vehicles MEV-115 “Autotractor”. Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production. 2023. Vol. 1(115). P. 135–142. DOI: 10.37204/2786-7765-2023-1-14.

5. Pohorilyy S., Popa L., Ihnatiev Y., Olt J., Bulgakov V., Trokhaniak O., Prysyazhnyy V., Mirnyi V. Laboratory experimental study of the traction characteristics of an “Auto-Tractor” based on an off-road vehicle. INMATEH – Agricultural Engineering. 2026. Vol. 78, No. 1. DOI: 10.35633/inmateh-78-117.

УДК 631.356.2.06: 635.21 (081)

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СХЕМ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛІДНИХ КУЛЬТУР

Поліщук Д. С.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

Постановка проблеми. Однією з найбільш трудомістких операцій у технологічному процесі вирощування моркви є збирання врожаю, частка затрат

праці на яке становить близько 70 % від загальних трудових витрат. Для викопування коренеплодів на сьогоднішній день застосовують картоплекопачі, бурякопідіймачі та викопувальні скоби. Використання таких технічних засобів характеризується значною енергоємністю технологічного процесу та підвищеним ризиком механічного пошкодження коренеплодів моркви, особливо довгоплідних сортів і гібридів. Недостатня забезпеченість дрібнотоварних господарств спеціалізованими технічними засобами для механізованого збирання моркви зумовлює збільшення обсягів ручної праці, що, своєю чергою, негативно впливає на економічну ефективність її виробництва та сприяє скороченню посівних площ цієї культури. Тому розроблення нових технічних засобів для викопування столових коренеплодів, застосування яких забезпечить зниження витрат енергетичних ресурсів і рівня механічного пошкодження коренеплодів, є актуальною науково-технічною проблемою, що потребує відповідного теоретичного та експериментального обґрунтування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових працях [1-3] встановлено, що механізація збирання коренеплідних культур є складним завданням, оскільки продуктивна частина рослини формується у ґрунті. Під час збирання необхідно забезпечити її викопування, очищення від ґрунту та вилучення без значних пошкоджень. Особливо це стосується моркви та інших довгоплідних коренеплодів, для яких збільшення глибини залягання супроводжується зростанням опору копанню [1]. У сучасних машинах застосовуються пасивні, активні та комбіновані робочі органи, які забезпечують підкопування, розпушування та вилучення коренеплодів. Перспективним напрямом є використання коливальних і вібраційних органів, здатних інтенсифікувати руйнування ґрунту та зменшувати навантаження на машину [1, 2]. Ефективність таких конструкцій визначається узгодженням параметрів робочих органів, глибини копання, швидкості руху та властивостей ґрунту, що зумовлює необхідність подальшого вдосконалення конструкцій машин для збирання коренеплодів [3-5].

Мета досліджень. Аналіз сучасного стану машин і робочих органів для механізованого збирання коренеплідних культур з визначенням конструктивно-технологічних передумов удосконалення процесу їх викопування.

Результати досліджень. Встановлено, що основними обмеженнями традиційних пасивних лемішних копачів є зростання тягового опору зі збільшенням глибини роботи та надходження значної кількості ґрунту на очисні робочі органи. Для теребильних машин характерним є зменшення ґрунтової маси, що проходить через машину, однак ефективність вилучення коренеплодів значною мірою залежить від стану гички. Активні та комбіновані робочі органи забезпечують локалізоване або поетапне руйнування ґрунту. Визначено перспективність застосування вібраційних і деблокуючих конструкцій, які дають змогу змінювати характер взаємодії робочого органа з ґрунтовим середовищем.

Висновки

1. Подальше вдосконалення коренезбиральної техніки доцільно здійснювати шляхом узгодження конструктивних і кінематичних параметрів

підкопувальних робочих органів, систем сепарації та транспортних механізмів з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту і біометричних характеристик коренеплодів.

2. Подальший розвиток конструкцій машин для збирання коренеплодів доцільно пов'язувати не з простим збільшенням кількості робочих органів, а з керованою взаємодією «робочий орган - ґрунт - коренеплід». Для моркви особливо перспективними є комбіновані та вібраційні копачі з попереднім локальним розпушуванням, адаптивним регулюванням і комплексною оцінкою енергетичних та якісних показників процесу.

Список використаних джерел

1. Рихлівський П. А. Обґрунтування параметрів робочих органів машин для збирання столових коренеплодів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Нац. наук. центр «Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва». Глеваха, 2021. 24 с.

2. Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. Дослідження динаміки взаємодії деблокатора з пластом кореневмісного шару ґрунту в процесі викопування глибокосидячих коренеплодів. Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 2017 р.). Кам'янець-Подільський, 2017. С. 184–188.

3. Tanaś W., Szymanek M. Influence of the working elements of the digging unit of a carrot harvester on soil deformation. Mechanization in Agriculture. 2024. Vol. 68, Issue 2. P. 39–41.

4. Shirwal S., Mani I., Sirohi N. P. S., Kumar A. Development and Evaluation of Carrot Harvester. Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America. 2015. Vol. 46, No. 1. P. 28–34.

5. Theoretical Research of the Design and Technological Parameters of a Device for Lifting of Deep-Seated Table Root Crops / V. Bulgakov, S. Ivanovs, I. Safchenko, A. Boris, P. Rychlivskyj. Acta Technologica Agriculturae. 2019. Vol. 22, No. 3. P. 99–103. DOI: 10.2478/ata-2019-0018.

УДК 631.372:624.131

СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕФОРМОВАНОГО КОЛЕСА З ҐРУНТОМ

Прілєпо Н. В.
Полтавський державний аграрний університет

Контактна взаємодія колеса з деформованим ґрунтом належить до основних завдань терамеханіки, теорії мобільних машин і механіки ґрунтів. Для сільськогосподарських та позашляхових машин ця задача має подвійний характер: адже необхідно одночасно забезпечити тягово-зчіпні властивості рушія та обмежити такі несприятливі впливи на ґрунт, як ущільнення, зсув,

колійність та залишкову деформацію. Огляд сучасних тематичних літературних джерел дозволяє виділити емпіричні, напівемпіричні та фізично обґрунтовані методи моделювання. І саме серед останніх значне місце займають континуальні та дискретні чисельні методи [1, 2].

Принципово важливо розрізняти мету розрахунку конкретної системи та мету отримання загальної закономірності. FEM та DEM дають змогу детально досліджувати обрану комбінацію геометрії, навантаження та властивостей матеріалу, тоді як аналітична формалізація двох взаємодіючих деформованих суцільних середовищ орієнтована на отримання функціональних залежностей, у яких геометричні та механічні параметри зберігаються у символічному вигляді.

Класична теорія взаємодії рушія з ґрунтом сформувалася завдяки працям М. Г. Беккера та отримала систематичний розвиток у працях Дж. Й. Вонга [3]. Згідно з ними, нормальний тиск пов’язаний із заглибленням, а дотичні напруження – зі зсувом і буксуванням. Такий підхід виявився надзвичайно ефективним для інженерної оцінки тяги, опору коченню та прохідності, тому й надалі використовується як важлива вихідна та порівняльна база [1, 4].

Обмеження напівемпіричної постановки проявляється при необхідності визначити повний напружено-деформований стан обох контактуючих тіл та встановити аналітичну залежність меж контакту від жорсткості колеса, властивостей ґрунту, геометрії та навантаження. Інтегральні показники корисні для оцінки експлуатаційних властивостей, однак для оптимізації геометрії потрібен також опис полів:

$$u(x,y,z),\ \varepsilon ij(x,y,z),\ \sigma ij(x,y,z). \qquad (1)$$

Втім, FEM не слід протиставляти механіці суцільного середовища, адже у задачах взаємодії колеса з ґрунтом це насамперед чисельний метод розв’язання континуальної крайової задачі. Для ґрунту задається визначальна модель матеріалу, наприклад, критерій Мора-Кулона, критерій плинності Дракера-Прагера, еластопластична модель Cam-Clay або її модифікації. Для колеса задаються геометрія, матеріал та умови контакту.

Застосування FEM для прогнозування взаємодії коліс із ґрунтом є розповсюдженим явищем [5], хоча сучасні дослідження використовують також такі передові чисельні методи та підходи, як ALE, CEL, SPH та MPM, для обрахунку режимів із великими деформаціями [1, 2].

Сильною стороною FEM є можливість враховувати складну форму шини та протектора, неоднорідність, пластичність, нелінійність та поступовість навантаження. При цьому для заданого набору параметрів формується конкретна дискретна задача, а при зміні параметрів виконується новий розрахунок. Можливі й проведення досліджень параметрів та оптимізації, але такі випадки вимагають серії обчислювальних експериментів, побудови поверхонь відгуку або поєднання з алгоритмами оптимізації.

DEM представляє ґрунт не як суцільне тіло, а як сукупність взаємодіючих дискретних елементів. Макроскопічна поведінка виникає внаслідок контактних сил, переміщень та обертань частинок. Цей метод є особливо ефективним для

гранульованих середовищ, локального руйнування структури та переміщення ґрунтових частинок. Дослідження показують, що DEM здатен відтворювати деталі динаміки ґрунту, яких немає в традиційних моделях, але вимагає калібрування параметрів контакту частинок на основі макроскопічних випробувань [4]. При практичному застосуванні задаються розміри та форма частинок, жорсткість контакту, тертя, демпфірування та інші мікропараметри.

Тобто, можна зробити висновок, що DEM може дати детальну чисельну відповідь для заданої реалізації середовища, однак отримання компактного загального закону залежності меж контакту або тягових показників від усіх параметрів не є стандартним кінцевим результатом.

При континуальній аналітичній формалізації колесо та ґрунт розглядаються як два взаємодіючі деформовані середовища. Де кожне тіло має власні геометричні та механічні характеристики, а область контакту не обов'язково має задаватися заздалегідь. У зоні контакту виконуються умови рівноваги контактних зусиль, сумісності нормальних переміщень в активній зоні контакту та закон тертя. У такому формулюванні межі контакту стають частиною розв'язку, адже передня та задня межі контакту в загальному випадку є функціями механічних властивостей, геометрії та навантажень.

Саме цьому напрямку присвячені роботи, де взаємодія розглядається як контакт деформованого колеса з деформованою опорною поверхнею [6–8]. В них було отримано аналітичні залежності розподілених сил, а також абсолютних деформацій і меж контактної зони. Головна перевага такого підходу полягає не у відмові від чисельного розрахунку як такого, а у відокремленні загального закону та його окремої чисельної реалізації. Адже при використанні FEM або DEM послідовність наборів параметрів $p_1, p_2, \ldots$ призводить до послідовності рішень $S_1, S_2, \ldots$, тоді як аналітичний підхід спрямований на отримання єдиної залежності.

Це є особливо важливим для задач оптимізації геометрії, коли похідні за геометричними параметрами можуть входити безпосередньо в необхідні умови оптимальності, а чисельний розрахунок використовується для перевірки та уточнення області, де можливе застосування аналітичних залежностей.

Сучасні дослідження взаємодії шини та деформованого ґрунту розвиваються від емпіричних і напівемпіричних моделей до фізично обґрунтованих неперервних й дискретних обчислювальних моделей. Розглянуті наукові публікації підкреслюють необхідність більш повного врахування конститутивного моделювання ґрунту, великих деформацій, періодичності навантажень та особливостей контакту [1, 2].

На цьому тлі аналітична формалізація колеса та ґрунту як двох взаємодіючих деформівних суцільних середовищ займає окрему нішу. Її основним результатом є не чисельний опис однієї обраної системи, а отримання залежностей, що зможуть пов'язати властивості матеріалів, геометрію та навантаження з межами контакту, розподілом контактних зусиль, переміщеннями, деформаціями та напруженнями. Це створює основу для

подальшого аналітичного переходу до пружно-пластичної моделі ґрунту та варіаційної оптимізації геометрії рушія.

Список використаних джерел

1. Swamy V. S., Pandit R., Yerro A., Sandu C. (2023). Review of modeling and validation techniques for tire-deformable soil interactions. *Journal of Terramechanics*, 109, 73-92. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.05.007

2. Jasoliya D., Untaroiu A., Untaroiu C. (2024). A review of soil modeling for numerical simulations of soil-tire/agricultural tools interaction. *Journal of Terramechanics*, 111, 41-64. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.09.003

3. Wong J. Y. (1984). On the study of wheel-soil interaction. *Journal of Terramechanics,* 21(2), 117-131. https://doi.org/10.1016/0022-4898(84)90017-X

4. Smith W., Melanz D., Senatore C., Iagnemma K., Peng H. (2014). Comparison of discrete element method and traditional modeling methods for steady-state wheel-terrain interaction of small vehicles. *Journal of Terramechanics,* 56, 61-75. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2014.08.004

5. Yong R.N., Fattah E.A. (1976). Prediction of wheel-soil interaction and performance using the finite element method. *Journal of Terramechanics*. https://doi.org/10.1016/0022-4898(76)90044-6

6. Kovbasa V., Priliepo N. (2024). Interactions of a Deformable Wheel with a Deformable Support Surface. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering,* 13 (9), 1-4. https://doi.org/10.35940/ijitee.I9944.13090824

7. Kovbasa V., Priliepo N. (2025). Determination of analytical dependencies of distributed forces in a deformable wheel – deformable surface contact zone. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(1(83), 6-12. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329471

8. Kovbasa V., Priliepo N. (2025). Analytical determination of absolute deformations and boundaries of the contact zone of a deformable wheel with a deformable surface. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1(86), 26-33. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.346717

УДК 631.312.021

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ

Теслюк В.В., Вечера О.М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Ікальчик М.І.
ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

Постановка проблеми. Основний обробіток ґрунту лемішними плугами загального призначення є важливою технологічною ланкою в загальній системі обробки грунту і обробітку сільськогосподарських культур. Скорочення кількості проходів трактора по полю досягається застосуванням комбінованих агрегатів, що складаються з плуга і інших ґрунтообробних знарядь: зубових борін, катків - грудкоподрібнювачів і ін. Одночасно з оранкою вони руйнують великі грудки і вирівнюють поверхню поля. Недоліком комбінованих агрегатів є висока металоємність, великий тяговий опір, низька маневреність.

Одним із способів підвищення якості оранки є використання спеціальних комбінованих робочих органів, які поєднують пасивний корпус з додатковим активним розпушуючим органом. Проте, такі робочі органи споживають значну потужність на виконання технологічного процесу через вал відбору потужності і мають погану якість обороту пласта.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Головним завданням основного обробітку ґрунту є підрізання і загортання підземних й надземних органів рослин, добрив, насіння бур'янів, збудників хвороб і шкідників культурних рослин, розпушування та часткове перемішування грунту робочими органами відвальних і дискових плугів [1].

Від якості виконання технологічного процесу основної обробки грунту багато в чому залежать фізико-біологічні і хімічні процеси, що протікають в орному і підорному горизонтах, кількість подальших проходів знарядь по полю, якість розміщення насіння в ґрунті і т. д, що зрештою позначається на врожайності оброблюваних культур. Одним із способів підвищення якості оранки є використання спеціальних комбінованих робочих органів, поєднуючих пасивний корпус з додатковим активним, спушуючим органом. Проте, такі робочі органи споживають значну потужність на виконання технологічного процесу через вал відбору потужності і мають погану якість обороту пласта.

Мета дослідження. Підвищення ефективності основного обробітку ґрунту шляхом використання спеціальних комбінованих робочих органів, поєднуючих пасивний корпус з додатковим активним, спушуючим органом.

Результати досліджень. Сучасний рівень розвитку сільськогосподарського виробництва вимагає створення простіших і ефективніших робочих органів для забезпечення заданого рівня показників якості виконання технологічного

процесу обробки грунту з урахуванням його властивостей, що змінюються, і біологічної особливості оброблюваних культур. Вирішення даної проблеми вимагало детального вивчення процесу дії робочих органів на грунт, розкриття внутрішніх процесів деформації, переміщення ґрунтових елементів і дослідження впливу конструктивних параметрів на якість обробки.

Зведення грунтів до моделі суцільного середовища полягає в можливості використання математичного апарату диференціального і інтегрального числень для опису її напружено-деформованого стану.

На основі розробленої нами моделі можна розглянути процес взаємодії робочого органу з середовищем і отримати об'ємну картину деформації середовища, визначити значення швидкостей частинок середовища, розподіл тиску перед робочим органом і безпосередньо на нім, траєкторії руху частинок, а також значення сил і моментів, що діють на робочий орган. Модель дозволяє вивчити і отримати безпосередню картину взаємодії не тільки робочого органу, але і знаряддя в цілому. Розроблена модель процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом на основі вирішення рівнянь динаміки суцільних середовищ дозволила отримати просторову картину сил і моментів. При цьому головний вектор сил опору R і моменти сил прикладаються в центрі мас робочого органу або в заздалегідь заданій точці, з відповідними координатами в області розрахунку. При цьому центр мас робочого органу визначається програмою з урахуванням форми робочого органу і матеріалу, з якого він виготовлений.

При моделюванні виникає необхідність визначення фізичних параметрів середовища, при яких вона найближче описувала б ґрунт. Тому, на підставі моделювання процесу роботи плугового корпусу були отримані силові характеристики при різних станах середовища (в'язкість ν, густина ρ) і робочої швидкості V_P.

На основі моделі, де ґрунт описується у вигляді суцільного середовища, що деформується, можна проводити силовий аналіз робочих органів ґрунтообробних машин. Пропонований інструмент полегшить процес розробки нових робочих органів і дозволить вибрати оптимальні їх геометричні і технологічні параметри на попередньому етапі проєктування за допомогою комп'ютерного моделювання.

В ході експериментів визначалися основні показники якості виконання технологічного процесу оранки при різних кутах установки додаткового ріжучого елементу і без нього.

Проведені експерименти показали, що установка додаткових ріжучих елементів істотно впливає на агротехнічні показники оранки. Так, при роботі з додатковими пристосуваннями кришіння вище більше ніж на 50% , а глибистість ріллі менша більше ніж на 60% в порівнянні із звичайним плугом. Ступінь кришіння грунту при установці ріжучого елементу під кутом 20° доходить до 75%, а без додаткових пристроїв лише 39,44%. Найбільший ефект від додаткових ріжучих елементів спостерігається в діапазоні регулювання кута встановлення $\Delta\beta = 10^\circ\ldots20^\circ$. Зменшення і збільшення кута їх установки за

межами цього діапазону знижує якісні показники виконання технологічного процесу оранки, і підвищує тяговий опір машини.

Висновок: За наслідками теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано конструкцію робочого органу лемішного плуга, що дозволяє підвищити якість основної обробки ґрунту, у вигляді додаткового регульованого подрібнювача у верхній частині полиці.

В результаті експериментальних досліджень вдосконаленого корпусу плуга встановлено, що зміна кута установки додаткового ріжучого елементу на 5° веде до зміни ступеню кришіння грунту в середньому на 8... 10%.

На основі експериментальних досліджень встановлені агротехнічні показники роботи лемішного плуга з вдосконаленим робочим органом: ступінь кришіння до 75%, глибистість - не більше 7%, висота гребенів - не більше 45 мм, що відповідає агротехнічним вимогам і привело до підвищення врожайності картоплі на 6,2 ц/га.

Список використаних джерел

1. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // Вісник аграрної науки. 2010. №1 С.58-62.

2. Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О., Войтюк Д.Г. Техніка для садівництва та виноградарства: Навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2025 332 с.

УДК 621.867.4:624.131

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГНУЧКОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ПІД ЧАС ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЧИЩЕНОГО ПОШКОДЖЕНОГО ҐРУНТУ З СЕРЕДИНИ ВИРВИ

Троханяк О.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Рекультивація пошкоджених і забруднених територій може здійснюватися механічним способом. Для цього спочатку потрібно очистити вирви від пошкодженого та забрудненого ґрунту важкими металами та іншими небезпечними речовинами. Після чого можливе проведення агротехнічних операцій, таких як дискування, культивація та, за необхідності, оранка. Для транспортування зчищеного пошкодженого шару грунту з середини вирви можна використовувати гнучкий гвинтовий конвеєр. Оскільки застосування шарнірних гвинтових робочих органів забезпечують високу ефективність виконання завантажувально-розвантажувальних технологічних процесів при транспортуванні сипких сільськогосподарських матеріалів на криволінійних трасах, то підвищення експлуатаційних показників гвинтового конвеєра є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гвинтові конвеєри можуть бути як стаціонарними, так і мобільними та широко застосовуються для завантаження

і перевантаження сипких матеріалів у транспортні засоби. Аналіз літературних джерел свідчить, що значну увагу приділено дослідженню кінематичних, динамічних і конструктивних параметрів робочих органів, а також режимів їх функціонування під час транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів у одно- та двомагістральних гвинтових конвеєрах, у тому числі із застосуванням активних завантажувальних пристроїв [1-3]. У роботах [4, 5] обґрунтовано раціональні параметри вертикальних і похилих гвинтових конвеєрів, а в дослідженнях [6-8] розроблено математичні моделі руху матеріалу в конвеєрах із обертовим кожухом. Разом із тим, низка питань, пов'язаних з експлуатаційними характеристиками та ресурсними показниками зазначених робочих органів, залишається недостатньо дослідженою. А це вказує на те, що підвищення ефективності функціонування гнучких гвинтових конвеєрів є важливим і актуальним завданням сільськогосподарського виробництва.

Мета досліджень. Підвищення експлуатаційних показників гнучкого гвинтового конвеєра шляхом дослідження впливу на продуктивність частоти обертання робочого органу, висоти піднімання ґрунту та коефіцієнта заповнення кожуха конвеєра.

Результати досліджень. Розроблено нову конструкцію лабораторної установки, за допомогою якої можна в лабораторних умовах досліджувати параметри процесу транспортування сипкого пошкодженого ґрунту, зчищеного з бічної поверхні середини вирви і накопиченого на її днищі. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень для визначення продуктивності гнучкого гвинтового конвеєра при транспортуванні пошкодженого ґрунту, зчищеного з середини вирви. За результатами проведених лабораторних експериментальних досліджень побудовано відповідні графіки для визначення впливу на продуктивність конвеєра частоти обертання гнучкого гвинтового робочого органу при різних висотах піднімання ґрунту та коефіцієнта заповнення кожуха конвеєра.

Висновки

1. Встановлено, що при збільшенні висоти піднімання ґрунту продуктивність гнучкого гвинтового конвеєра зростає, і в межах зміни висоти від 1 м до 3 м продуктивність зростає в 1,3 рази при частоті обертання 350 об·хв$^{-1}$ і коефіцієнті заповнення кожуха 0,5.

2. Із аналізу графіків видно, що збільшення частоти обертання робочого органу призводило до збільшення продуктивності конвеєра. При зміні частоти обертання від 200 об·хв$^{-1}$ до 500 об·хв$^{-1}$ виникало зростання продуктивності конвеєра на 27-32 %. встановлено, що збільшення коефіцієнта заповнення кожуха ґрунтом призводило до зростання продуктивності конвеєра. При зміні коефіцієнта заповнення кожуха ґрунтом в межах 0,3-0,7 викликало зростання продуктивності конвеєра на 41-48 %.

Список використаних джерел

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Ihnatiev Y., Smolinskyi S., Kiernicki Z. Experimental study of the movement controllability of a machine-and-tractor

aggregate of the modular type. INMATEH - Agricultural Engineering, 2020. Vol. 61 (2), pp. 9 - 16, DOI: 10.35633/inmateh-61-01.

2. Trokhaniak O. M., Hevko R. B., Lyashuk O. L., Dovbush T. A., Pohrishchuk B. V., Dobizha N. V. Research of the of bulk material movement process in the inactive zone between screw sections. INMATEH - Agricultural Engineering, 2020. Vol. 60, (1), 261–268..

3. Lyashuk O., Vovk Y., Sokil B., Klendii V., Ivasechko R., Dovbush T. Mathematical model of a dynamic process of transporting a bulk material by means of a tube scraping. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2019. Vol. 21 (1), pp. 74-81.

4. Bulgakov V., Trokhaniak O., Adamchuk V., Chernovol M., Korenko M., Dukulis I., Ivanovs S. A Study of Dynamic Loads of a Flexible Sectional Screw Conveyor. Acta Technologica Agriculturae, 2022. Vol. 25 (3), pp. 131 – 136.

5. Olt J., Bulgakov V., Trokhaniak O., Klendii M., Gadzalo I.A., Ptashnik M., Tkachenko M. Harrow with screw-type operating tools: Optimisation of design and process parameters. Agronomy Research, 2022. Vol. 20 (4), pp. 751 – 763.

6. Aulin V.V., Pankov A.O., Zamota T.M., Lyashuk O.L., Hrynkiv A.V., Tykhyi A.A., Kuzyk A.V. Development of mechatronic module for the seeding control system, INMATEH - Agricultural Engineering, 2019. Vol. 59 (3), pp. 1-8.

8. Bulgakov V., Holovach I., Bandura V., Ivanovs, S. A theoretical research of the grain milling technological process for roller mills with two degrees of freedom. INMATEH – Agricultural Engineering, 2017. 52(2), pp. 99–106.

ПРОБЛЕМНА СЕКЦІЯ «ОРАНКА» / «STRIP-TILL»

УДК 681.5.015.23:631.311

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ У ЗМІННИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Білоус М. М., Виговський А. Ю.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Продуктивність є одним із найважливіших показників ефективності використання ґрунтообробних машинних агрегатів. Від точності її визначення залежить оцінювання результативності роботи машин, обґрунтування складу машинно-тракторного агрегату, визначення тривалості виконання технологічної операції та планування потреби в технічних засобах. Особливо важливим є отримання показника, який максимально наближений до фактичних умов роботи агрегату, оскільки однакові за технічними характеристиками машини можуть демонструвати різну продуктивність залежно від умов експлуатації.

Традиційний підхід до визначення продуктивності технологічного машинного агрегату ґрунтується на врахуванні конструктивної ширини захвату, коефіцієнта її використання, робочої швидкості та коефіцієнта використання

робочого часу зміни. Така залежність дає змогу оцінити потенційні можливості агрегату, однак її точність значною мірою залежить від того, наскільки прийняті умови розрахунку відповідають фактичним умовам виконання технологічної операції.

Під час виконання польових робіт на лісових ділянках істотний вплив на продуктивність мають конфігурація робочої ділянки, рельєф, фізичний стан ґрунту, його вологість і кам'янистість, а також наявність природних перешкод (корені, пеньки, порубкові залишки тощо). У складних умовах збільшується частка непродуктивних переміщень, змінюється можливий режим руху агрегату, зростає тривалість окремих елементів робочого циклу. Унаслідок цього фактична продуктивність може істотно відрізнятися від розрахункової.

Тому актуальним є удосконалення методики розрахунку продуктивності орних агрегатів шляхом урахування не лише технічних параметрів машин і балансу часу зміни, а й комплексного впливу природно-виробничих умов.

Питання раціонального комплектування орних машинно-тракторних агрегатів та визначення їх експлуатаційних показників досліджувалися у працях [1]. У цих дослідженнях продуктивність розглядається як один із ключових показників, що характеризує ефективність використання машинних агрегатів. Значна увага приділяється взаємозв'язку між конструктивними параметрами машин, режимами їх роботи та фактичними умовами виконання технологічних операцій.

Аналітичний огляд методів моделювання засобів механізації обробітку ґрунту [2] свідчить про необхідність урахування комплексу чинників, які визначають результативність роботи машин.

Дослідження впливу механізованих операцій на ґрунт [3, 4] також підтверджують значення природних умов та особливостей руху машин для формування експлуатаційних показників. Характеристики ґрунту, рельєф та особливості виконання технологічних операцій впливають на умови руху машин і, відповідно, на використання робочого часу.

У традиційному підході основні чинники продуктивності враховуються через технічні параметри агрегату та коефіцієнт використання робочого часу. Водночас кількісне відображення складності конкретної лісової ділянки потребує додаткового коригування.

Метою досліджень є удосконалення методики розрахунку продуктивності орних машинних агрегатів шляхом урахування складності природно-виробничих умов їх експлуатації та обґрунтування показника, який дає змогу врахувати відмінність фактичних умов роботи від типових.

Для технологічних машинних агрегатів продуктивність визначається за типовою залежністю:

$$W_{год} = 0{,}1B\beta V_p K_T \ , \qquad (1)$$

де Wгод – продуктивність агрегату за годину, га·год-1; B – конструктивна ширина захвату агрегату, м; β – коефіцієнт використання ширини захвату; Vp – робоча швидкість агрегату, км·год-1; KT – коефіцієнт використання робочого часу зміни.

Такий підхід дає змогу деталізувати часові витрати, однак не характеризує складність природно-виробничих умов. Дві ділянки можуть мати однакову тривалість зміни, але відрізнятися конфігурацією, рельєфом, вологістю або включеннями в ґрунті. У результаті робоча швидкість, маневрування та можливість повного використання ширини захвату агрегату можуть відрізнятися.

Для уточнення розрахунку запропоновано використовувати коефіцієнт складності умов роботи. Запропонований коефіцієнт характеризує сукупний вплив природно-виробничих чинників і формується з урахуванням коефіцієнтів форму лісової ділянки, ландшафт, кам'янистості ґрунту, наявності перешкод, вологості ґрунту. Для різного ступеня складності умов встановлено диференційовані значення коефіцієнта: від 1,0 для сприятливих умов до 0,52 для небезпечних. Такий підхід дає змогу перейти від використання єдиного узагальненого показника до оцінювання продуктивності з урахуванням фактичних умов роботи агрегату.

З урахуванням складності природно-виробничих умов уточнена залежність для визначення продуктивності набуває вигляду:

$$W_{год} = 0{,}1B\beta V_p K_T K_{ск} \ , \qquad (2)$$

де Кск – коефіцієнт складності умов застосування машинного агрегату.

Практичне значення такого підходу полягає у можливості точнішого планування роботи машинних агрегатів. Використання коефіцієнт складності дає змогу враховувати особливості конкретної робочої ділянки під час визначення необхідного часу виконання операції, порівняння варіантів агрегатів та оцінювання їх експлуатаційної ефективності. При цьому параметр не замінює показників технічної продуктивності, а доповнює їх коригуванням на умови експлуатації.

Отже, продуктивність агрегату доцільно розглядати як результат взаємодії технічних характеристик машин, режиму їх роботи, використання робочого часу та природно-виробничих умов. Такий підхід забезпечує більш обґрунтовану оцінку фактичних можливостей агрегату і може бути застосований під час планування механізованих робіт.

Для коректнішого визначення продуктивності необхідно враховувати конфігурацію лісової ділянки, особливості рельєфу, кам'янистість та вологість ґрунту, наявність перешкод і висоту над рівнем моря. Сукупний вплив зазначених чинників може бути представлений коефіцієнтом складності умов роботи.

Запропонований підхід може бути використаний для обґрунтування складу машинних агрегатів, планування тривалості технологічних операцій та оцінювання фактичної продуктивності технічних комплексів за конкретних природно-виробничих умов.

Список використаних джерел

1. Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В., Лепеть Є. І. Аналітичний огляд методів моделювання засобів механізації обробітку ґрунту. Науковий вісник

Таврійського державного агротехнологічного університету. 2023. Вип. 13, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-2.

2. Burger P. R., Sutherland R. A. Soil displacement during ground-based mechanized forest operations. Soil and Tillage Research. 2000. Vol. 54. P. 107-117. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00097-3.

3. Liu W. et al. The influence of turning on machine impacts on soil. Soil and Tillage Research. 2010. Vol. 108. P. 30-39. DOI: 10.1016/j.still.2010.01.002.

4. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Камінський В. Д. Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. Вісник аграрної науки. 2022. Вип. 10. DOI: 10.31073/agrovisnyk202210-04.

УДК 631.316:630*23

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЛІСОВИХ ПЛУГІВ НА ЛІСОКУЛЬТУРНИХ ДІЛЯНКАХ

Виговський А. Ю., Ковальчук В. С.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У лісогосподарському виробництві недостатньо якісний обробіток ґрунту на лісокультурних ділянках – це одна з тих проблем, причиною якої є відсутність необхідної багатофункціональної техніки [3].

Основна підготовка ґрунту (нарізання борозен) під лісові культури на зрубах є важливим фактором у забезпеченні високої приживаності та розвитку лісових культур.

Її метою є створення посадкової борозни на задану глибину, розпушування ґрунту з заданим ступенем кришіння, при цьому також необхідно забезпечити стримування зростання бур'янної рослинності та другорядних порід у прилеглих до рядків культур, також покращення агротехнічних показників, підвищення продуктивності та якості обробітку ґрунту.

Дослідження вітчизняних та зарубіжних учених показують, що за ефективністю обробітку та якістю обробітку ґрунту на лісокультурних ділянках, особливо важких за механічним складом, ґрунтообробні знаряддя (фрези, плуги) є найефективнішими [4].

Залежно від ґрунтових умов підготовка може полягати в нарізанні одно- або двовідвальних борозен (дреновані ґрунти) та в утворенні мікропідвищень (перезволожені ґрунти). Для цих цілей в даний час на лісокультурних ділянках використовують плуги: ПЛ-75-15, ПКЛ-70, ПРЛ-70 та інші. Серед цього переліку лісогосподарських знарядь можна виділити найбільш поширений у лісовому господарстві плуг для роботи на нерозкорчованих зрубах із кількістю пнів до 600 шт. на 1 га – плуг комбінований лісовий ПКЛ-70. Його застосовують для створення двовідвальних борозен глибиною 10-15 см і шириною 0,7 м. До недоліків цього плуга слід віднести відсутність запобіжного механізму, що

викликає значні динамічні навантаження під час наїзду на перешкоди та можливістю виконання лише однієї технологічної операції [1].

Велика різноманітність використовуваної ґрунтообробної техніки та її невисока ефективність підтверджує актуальність завдання створення багатофункціональних лемішних знарядь на основі блочно-модульної конструкції. Це дозволить ефективно виконувати одним знаряддям основну підготовку ґрунту в різних умовах.

Особливість блочно-модульної побудови лісових лемішних плугів полягає у розробці сукупності вузлів, об'єднаних спільністю технічних рішень, використанням обмеженої номенклатури складових елементів. Число та вид модулів визначається сукупністю виконуваних технологічних процесів. Це дозволяє поєднати велику різноманітність спеціалізованої ґрунтообробної техніки до вузького спектру універсальних знарядь. Такий підхід широко застосовується в сільському господарстві. Такі агрегати можуть виконувати декілька технологічних операцій, які пов’язані з обробітком ґрунту. Їх багатофункціональність досягається за рахунок використання комплекту робочих органів та блочно-модульної конструкції знаряддя. Це дозволяє шляхом перестановки місцями блоків робочих органів або заміни їх змінними блоками складати різні технологічні схеми агрегату, які найбільш відповідають вимогам для проведення технологічним операцій [3].

У лісовому господарстві блочно-модульна побудова ґрунтообробних знарядь не знайшла широкого застосування. На даний час переважають конструкції, які пристосовані до виконання однієї технологічної операції в рамках використовуваної технології. У той же час всі ці спеціалізовані агрегати найчастіше залишаються незатребуваними, тому що лісовим господарствам на сучасному етапі розвитку невигідно закуповувати та експлуатувати широкий спектр обладнання [2].

Для вирішення цієї проблеми пропонується використання багатофункціональних лісових лемішних плугів, які можуть використовуватись для роботи в умовах нерозкорчованих вирубок і проводити смуговий обробіток ґрунту методами нарізки двовідвальних борозен та створення мікропідвищень у вигляді гряд.

Багатофункціональний лісовий лемішний плуг може використовуватися для нарізання одночасно двох борозен із пластами, які перекидаються назовні. Він має дві напівгвинтові лемішні секції, розташовані на заданій відстані. У процесі роботи утворюються мікропідвищення та дві борозни з відстанню між центрами, яка може змінюватися в певних межах. Також ним можна створювати посадкові місця одночасно з розпушуванням дна борозни.

Наведені варіанти компонування знаряддя показують його багатофункціональність. Таким чином, пропонований багатофункціональний лісовий плуг може замінити існуючі лісові лемішні відвальні плуги.

Шляхом простих переналаштувань, що здійснюються на місці, можна проводити основну підготовку ґрунту на вирубках з дренованими ґрунтами із нарізанням одно- та двовідвальних борозен, з перезволоженим ґрунтами

створювати мікропідвищення, при цьому можна змінювати відстань між корпусами відповідно до заданих міжрядь.

Список використаних джерел

1. Думич В., Кушнір З. Сучасні тенденції розвитку конструкцій машин для підготовки та обробітку ґрунту в лісовому господарстві. *Техніка і технології АПК.* 2018. № 1. С. 12–15.

2. Василенко М. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. *Пропозиція*. 2012. № 12. С. 86–92.

3. Марченко В. В., Ткаченко О. М., Несвідомін В. М. Універсальні багатофункціональні плуги. *Агроном*. 2007. № 1. С. 86–89.

4. Löf M., Dey D., Navarro R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests.* 2012. № 5-6 (43). Pp. 825–848.

УДК 631.312; 631.316.22

ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ЗА УМОВ ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ

Лещенко С.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Постановка проблеми. Однією із проблем агровиробництва залишається переущільнення ґрунтів. Проведені дослідження [1, 2, 3] дозволили підтвердити, що найбільш переущільнений горизонт ґрунту найчастіше формується на глибині 25…35 см, створюючи при цьому механічну перешкоду для проникнення коренів рослин, інфільтрації вологи та повітреобміну ґрунтового середовища. За таких умов традиційне збільшення тягового зусилля або глибини обробітку не забезпечує пропорційного підвищення технологічної ефективності, оскільки весь процес супроводжується зростанням енергоємності та має місце підвищення навантаження на робочі органи ґрунтообробних агрегатів.

Отже, переущільнення ґрунту вимагає ефективного підбору ґрунтообробного агрегату, що має забезпечувати руйнування ущільненого шару без обертання скиби, збереження природної структури орного горизонту та ефективне використання енергетичних показників. У цьому аспекті доцільним є використання комбінованих глибокорозпушувачів, у яких функції руйнування монолітів, розсування часток ґрунту, додаткового деформування та вирівнювання ґрунту розподілені між кількома елементами конструкцій чи робочими органами. Такий підхід дозволяє сформувати розширену зону деформації різними робочими поверхнями за умов безпосереднього впливу на загальний тяговий опір знаряддя.

Аналіз останніх досліджень. Розробці конструкції та обґрунтуванню параметрів агрегатів для основного безполицевого обробітку присвячено праці

як вітчизняних[1, 2, 3, 4, 5] так і закордонних дослідників [6, 7]. Аналіз отриманих результатів підтверджує, що ефективність такого обробітку визначається не окремим параметром робочого органу, а сукупністю його геометричних характеристик, просторовим розміщенням елементів та відповідністю конструкції стану і властивостям ґрунту.

Основними елементами глибокорозпушувачів є лапа, яка складається із стояка, долота, додаткових крил або закрилків, зуба, а також більшість виробників у схему агрегатів додають допоміжні органи – зубчасті, кільчасті чи борінчасті котки або ж дискові секції. Чизельна лапа з крилами, яка і виконує основну роботу, збільшує ширину робочої зони, тоді як долотоподібні елементи сприяють формуванню вертикальних, нахилених і горизонтальних тріщин у моноліті ґрунту. Крім того, доведено [4, 5], що комбінація різних деформаторів може забезпечувати синергетичний ефект, за якого кожен наступний робочий елемент агрегату взаємодіє вже з попередньо зрушеним середовищем.

У проведених дослідженнях [3, 4, 5] значну увагу приділено формі крил. Виділено серповидні і плоскі крила а також крила з криволінійною робочою поверхнею, зокрема типу «хвіст дельфіна». Серповидна форма забезпечує поступове входження у ґрунту, плоскі крила інтенсифікують кришення ущільненого шару, а криволінійна поверхня сприяє більш рівномірному перерозподілу напружень та інтенсифікації утворення тріщин. На основі цього підходу запропоновано гібридну конструкцію чизельної лапи з регульованими горизонтальними деформаторами.

Крім цього, на етапі проектування та підбору глибокорозпушувачів слід комплексно враховувати реологічні властивості ґрунту. З метою опису поведінки ґрунту під час роботи в його товщі робочого органу доцільно використовувати модель Максвелла–Кельвіна, відповідно до якої деформація має пружну, в’язку та пластичну складові [5]. Поряд із цим оптимізація технологічного режиму має враховувати ефект Ребіндера – зниження міцності ґрунтових зв’язків, коли вологість є сприятливою. Раціональна конструкція глибокорозпушувача повинна доповнюватися вибором часу виконання роботи та швидкості обробітку.

Мета досліджень. Метою досліджень є вивчення особливостей використання комбінованих агрегатів для основного безполицевого обробітку переущільненого ґрунту шляхом узгодження конструктивних параметрів робочих органів із властивостями ґрунтового середовища.

Результати досліджень. Розгляд процесу взаємодії робочих органів комбінованого агрегату з переущільненим ґрунтом доцільно проводити як послідовність взаємопов’язаних процесів деформації. В ході виконання роботи запропоновано робочу зону чизельної лапи розділити на три функціональні зони. У першій зоні долото проводить первинне руйнування незрушеного ґрунту на максимальній глибині. За таких умов переважають процеси сколювання і зрізання, а геометрія долота має забезпечувати концентрацію напружень і утворення тріщин із мінімальними енергозатратами. У другій зоні стояк і зуб взаємодіють із уже частково зрушеним ґрунтом. Стояк формує вертикальну складову деформації, а зуб додатково відводить в боки рослинні рештки та ґрунт,

зменшуючи ймовірність забивання робочого органу. У третій зоні крила виконують вторинне руйнування та розширюють область обробітку. Крила працюють в середовищі, структура якого вже порушена долотом і стояком. Це створює передумови для реалізації ефекту «каскадного руйнування», за якого загальна енергоємність процесу може бути знижена без зменшення глибини та ширини ефективного впливу.

Порівняння відомих варіантів чизельних лап [4], зокрема їх деформаторів, дозволяє відмітити, що зменшення кута входження доліт з 25° до 20° сприяє зниженню тягового опору на 12–15 %. Використання доліт опуклої форми дозволяє зменшити питомі енерговитрати на 18–22 %, а комбінування робочих органів різного функціонального призначення забезпечує скорочення загальних енерговитрат на 8–10 %. Такі результати підтверджують доцільність переходу від вдосконалення елементів робочого органу до поелементної оцінки всього технологічного ланцюга впливу на частки ґрунту.

Під час обробки важких ущільнених суглинкових ґрунтів Центральної України найбільш ефективно працюють чизельні лапи із додатковими горизонтальними деформаторами, як приклад – поєднання серповидної форми бокових крил із криволінійними вставками типу «хвіст дельфіна». Так, використовуючи запропоновану чизельну лапу при глибині обробітку 35–45 см якість розпушення складала 72–78 %, а питомий тяговий опір за вологості ґрунту 18–22 % знижувався приблизно на 14 % крім цього досягалося зниження енерговитрат на 12–16 %.

Окремим фактором адаптації є робоча швидкість агрегату. Керуючись реологічним обґрунтуванням [5], зі збільшенням швидкості зростає в’язка складова опору деформації. При роботі на переущільнених ґрунтах робоча швидкість агрегату обмежується до 8–9,5 км/год. Водночас технологічна ефективність визначається не лише швидкістю, а й вологістю ґрунту, глибиною обробітку, формою деформаторів, шириною захвату та схемою розміщення робочих органів в агрегаті. Отже, комбінований ґрунтообробний агрегат повинен розглядатися як складова адаптивної технології обробітку ґрунту, а не виключно як механічне поєднання робочих органів глибокорозпушувача.

Висновки. Узагальнення отриманих результатів дозволяє сформулювати основні принципи використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів при обробітку переущільнених ґрунтів: первинне руйнування виконується робочим органом, здатним концентрувати напруження на заданій глибині; наступні деформатори мають працювати в попередньо зрушеному ґрунтовому середовищі; параметри додаткових крил повинні узгоджуватися із властивостями ґрунту; швидкість виконання операції визначаються з врахуванням реологічних властивостей.

Список використаних джерел

1. Гуков Я.С. Обґрунтування деяких параметрів розпушувачів ґрунту // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К., 2000. – Вип. 83. – С.84-88.

2. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища / І.А. Шевченко – К.: Видавничий дім «Вініченко», 2016 – 320 с.

3. Ветохін В.І., Панов А.І. Деякі тенденції розвитку конструкцій робочих органів для чизельно-полицевого обробітку ґрунту. Техніко- технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : Збірник наук. пр. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2013, Вип. 17(31), Кн.1, С.92-98.

4. Лещенко С.М. Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів. / Лещенко С.М., Сало В.М., Васильковський О.М., Петренко Д.І. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 52. 2022. С. 108-117. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117.

5. Лещенко, С. М. (2026). Технологічна модель глибокого розпушування ґрунту. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин , (56), 185–198. https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.185-198.

6. Wang X., Du R., Geng L., Zhou H., Ji J. Performance evaluation of a cicada-inspired subsoiling tool using DEM simulations. Biomimetics. 2024. Vol. 9, no. 1. Art. 25. https://doi.org/10.3390/biomimetics9010025.

7. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. Soil and Tillage Research, 199, 104586. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586.

УДК 631.51:631.43:631.559

АГРОТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОРАНКИ В ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІЙ СИСТЕМІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Шевченко С. М., Сокол С. П.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. В умовах Північного Степу України вибір способу основного обробітку ґрунту визначає можливості регулювання його агрофізичного стану, збереження вологи та обмеження забур’яненості посівів. Полицева оранка забезпечує розпушення й обертання скиби, загортання рослинних решток і перерозподіл насіння бур’янів в орному шарі. Проте її застосування потребує врахування ерозійної небезпеки та витрат ресурсів. Тому актуальним є обґрунтування місця оранки в диференційованій системі обробітку, узгодженій із ґрунтовими умовами, попередниками та вимогами культур.

Аналіз останніх досліджень. Вивчення способів обробітку чорнозему

показало їхній вплив на розміщення рослинних решток, щільність складення, водний режим і розвиток кукурудзи [1]. Ефективність регулювання забур'яненості пов'язана з поєднанням сівозміни, основного обробітку та запобігання поповненню ґрунтового банку насіння бур'янів [2]. Водночас у дослідженнях короткоротаційних сівозмін встановлено переваги чизельного і мілкого мульчувального обробітків щодо весняного накопичення вологи [3]. Це свідчить про залежність результативності обробітку від конкретних умов і необхідність комплексної оцінки оранки.

Мета досліджень. Обґрунтувати застосування та глибину полицевої оранки в диференційованій системі основного обробітку ґрунту за показниками агрофізичного стану чорнозему, вологозабезпечення, забур'яненості, продуктивності культур і протиерозійної стійкості.

Результати досліджень. Узагальнено матеріали польових дослідів навчально-наукового центру Дніпровського державного аграрно-економічного університету та стаціонару ДУ Інститут зернових культур НААН України. У п'ятипільних зерно-паро-просапній і зерно-просапній сівозмінах порівнювали оранку, чизельний, дисковий обробітки та пряму сівбу. Сівозміни відрізнялися першою ланкою – чорним паром або горохом; далі вирощували пшеницю озиму, соняшник, ячмінь ярий і кукурудзу на зерно. В окремому досліді у чотирипільній сівозміні вивчали оранку на 16–18, 20–22 і 25–27 см. Оцінювали твердість і щільність складення ґрунту, запаси доступної вологи, забур'яненість та врожайність. У паровому полі нульовий обробіток передбачав хімічне контролювання бур'янів без механічного розпушення.

За мілкого дискового обробітку та прямої сівби твердість ґрунту протягом вегетації культур була на 12,4–49,1 % вищою, ніж за оранки й чизельного розпушення. Збільшення глибини оранки з 16–18 до 25–27 см супроводжувалося зниженням щільності складення ґрунту на 14,1–21,9 %. Отже, поглиблення полицевого обробітку може бути дієвим заходом регулювання ущільнення орного шару. Необхідність такого заходу доцільно визначати за станом ґрунтового профілю, а глибину – узгоджувати з розміщенням ущільненого шару та потребами наступної культури.

Вплив обробітку на водний режим проявлявся у взаємодії з попередником і станом поверхні поля. У паровому полі запаси доступної вологи в шарі 0–150 см перебували в межах 181–184 мм за оранки, 180–185 мм за чизельного, 176–180 мм за дискового обробітку та 170–175 мм за нульового обробітку. Близькі значення за оранки й чизелювання свідчать про можливість вибору між цими способами з урахуванням інших показників. Наведені результати характеризують досліджені умови парового поля; їх не слід поширювати на всі культури та сезони. За інших умов збереження рослинних решток на поверхні може посилювати вологозбережувальний ефект безполицевого обробітку [3].

Важливим наслідком зміни глибини обробітку є перерозподіл насіння бур'янів. За основного обробітку чорного пару на 25–27 см забур'яненість наступних посівів пшениці озимої становила 10,6 шт./м², на 20–22 см – 17,4 шт./м², на 12–14 см – 25,7 шт./м². Такі відмінності обґрунтовують поєднання

регулювання глибини обробітку з фітосанітарними заходами сівозміни. За узагальненими матеріалами, перевага оранки над прямою сівбою за врожайністю пшениці озимої досягала 0,35 т/га після чистого пару та 0,21 т/га після гороху. Отже, оцінювати оранку потрібно за сукупним впливом на ґрунтові умови й продуктивність посівів.

Застосування оранки має екологічні обмеження. У чорному пару за обліками змиву у ґрунтовловлювальних пастках відповідний показник становив 61 г/м² за оранки та 19–37 г/м² за чизельного, дискового обробітків і технології нульового обробітку. Тому на ерозійно небезпечних ділянках пріоритет слід надавати прийомам зі збереженням захисного покриву рослинних решток. Вибір полицевого обробітку на таких землях потребує оцінки рельєфу й стану поверхні поля та поєднання з протиерозійною організацією території.

Практична реалізація диференційованої системи передбачає виконання оранки за фізичної стиглості ґрунту, дотримання заданої глибини, налаштування робочих органів плуга та контроль якості загортання решток. Слід запобігати утворенню плужної підошви й надмірному подрібненню ґрунту. За тривалої мінімізації обробітку та виявленого надмірного ущільнення доцільно розглядати періодичну оранку на 23–25 см під кукурудзу або соняшник. Орієнтовний інтервал 3–5 років між такими операціями слід уточнювати за фактичним станом ґрунту. В інших полях сівозміни обробіток добирають з урахуванням вологозабезпечення, забур’яненості та ерозійної небезпеки.

Висновки. Полицева оранка є важливим елементом диференційованого обробітку чорноземів Північного Степу України. У досліджених умовах вона забезпечувала регулювання агрофізичного стану орного шару, зменшення забур’яненості та підвищення врожайності пшениці озимої порівняно з прямою сівбою. Її глибину й періодичність слід визначати за станом ґрунту та місцем культури в сівозміні. Поєднання оранки з чизельним і мілким мульчувальним обробітками та прямою сівбою дає змогу узгодити продуктивність культур із потребою збереження ґрунтових ресурсів.

Список використаних джерел

1. Shevchenko S., Derevenets-Shevchenko K., Desyatnyk L., Shevchenko M., Sologub I., Shevchenko O. Tillage effects on soil physical properties and maize phenology. International Journal of Environmental Studies. 2024. Vol. 81, No. 1. P. 393–402. DOI: 10.1080/00207233.2024.2320032.

2. Shevchenko S., Tkalich Yu., Shevchenko M., Kolesnykova K., Derevenets-Shevchenko K. The evaluation of total weed density and seed bank of agricultural landscapes as an example of the Steppe Zone of Ukraine. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26, No. 11. P. 80–89. DOI: 10.48077/scihor11.2023.80.

3. Shevchenko S., Tsyliuryk O., Shevchenko M., Hulenko O., Derevenets-Shevchenko K., Kokhan A. Balance of moisture reserves and methods of their efficient use in short crop rotations of the Steppe of Ukraine. Ecological Questions. 2025. Vol. 36, No. 4. P. 17–28. DOI: 10.12775/EQ.2025.036.

СЕКЦІЯ «МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, РОБОЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА»

УДК 581.143:581.1:535.3

SEED VITALITY AS A FUNCTION OF THE EFFECT OF RED-RANGE OPTICAL RADIATION ON THE PHYTOCHROME SYSTEM

Pankova O.V.
Kharkiv National Automobile and Highway University

It is well known that prolonged storage leads to a decline in seed viability, manifested by a reduction in germination energy, laboratory and field germination rates, and seed growth rate (Asghar T., 2016). When metabolic disturbances reach the point of no return, the seeds lose their viability completely. This is of great significance for the long-term storage of seeds in plant gene banks. It is known that irradiating seeds with radiation in the red region of the spectrum at λ = 660 nm (RL) and λ= 730 nm (FRL) activates the phytochrome system and regulates plant growth and development. Scientific researches demonstrated that activated phytochrome can increase (by up to 26 per cent) the germination rate of watercress seeds, which had been lost as a result of artificial ageing (Chen M., 2011; Chervinskyi L., 2016) . We therefore set out to investigate the germination of seeds that had been dormant for several years and had lost their normal ability to germinate.

The experimental studies were carried out under laboratory conditions. Barley seeds of the ‘Dzherelo’ variety were irradiated with RL (660 nm) and FRL (730 nm); the control consisted of non-irradiated seeds. Irradiation was carried out after a two-hour soaking period, lasting 10 minutes, using a photon matrix consisting of 24 semiconductor light-emitting diodes, which was positioned in a light-controlled chamber above the plant trays containing the seedlings. The number of germinated seeds was counted after 3 days and subsequently every 24 hours. The results were analysed statistically.

The data obtained show that an increase in the number of germinated seeds was observed in all treatments throughout the experiment. At the start of the experiment, i.e. three days after irradiation, the seeds in the RL +FRL treatment had the lowest germination rate. This was followed by the control, the FRL treatment, and the highest germination rate was observed in the RL treatment. It is clearly evident that in the RL +FRL treatment, FRL counteracts the effect of RL and inhibits seed germination (by ~55 per cent), which is consistent with the literature. Not only did FRL not inhibit germination, but it even slightly stimulated it (by ~12%). This may be due to the

formation, under the influence of FRL, of intermediate forms of phytochrome (intermediates) that exert a stimulating effect.

Of particular note is the significant increase in the number of germinated seeds in the RL treatment (by ~27 per cent), which is consistent with the literature on the stimulation of germination by red light. Subsequently, the number of germinated seeds increased every day. The highest germination rate was observed on day 6 in the red light treatment (96%). By the end of the experiment, the germination rates in the red light + blue light and blue light treatments had equalised (90%), which may be due to the delayed manifestation of the stimulation of intermediates during combined red light and blue light irradiation.

Consequently, the studies carried out make it possible to conclude that exposing barley seeds to red light improves germination and seed viability, helps to break dormancy and evidently stimulates the enzymatic processes associated with the mobilisation of nutrients. Red light ensures high photoreactivity in barley and is more effective at breaking seed dormancy, likely through the involvement of phytochrome systems. These properties of red light are utilised in agriculture for pre-sowing seed treatment and to stimulate growth and development.

The method we have developed for treating aged seeds with red-spectrum optical radiation can be recommended as a means of extending the storage life of seeds in the national plant gene bank, in order to enhance the viability and genetic stability of the source material.

References

1. Asghar T., J. Y.-u.-H. (2016). Laser light and magnetic field stimulation effect on biochemical, enzymes activities and chlorophyll contents in soybean seeds and seedlings during early growth stages. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*(165), pp. 283–290. doi:https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.10.022

2. Chen M., C. J. (2011). Phytochrome signaling mechanisms and the control of plant development. *Trends in Cell Biol, 21*(11), 664–671.

3. Chervinskyi L., K. T. (2016). Theoretical substantiation of the mechanism of control of the effect of optical radiation on biological systems based on photoreactivation. *Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine*(242), 106-116.

УДК 631.362.5:621.867.3

ВИПРОБУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ФЕНОТИПУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

Алієва О. Ю.
Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України,
Алієв Е. Б., Черній О. А.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми: Україна займає друге місце в світі по вирощуванню насіння соняшнику [1]. Тому актуальним постає питання забезпеченості аграріїв вітчизняним якісним посівним матеріалом соняшника.

Аналіз останніх досліджень: Для проведення селекційної роботи, по створенню сучасних сортів та гібридів соняшнику, набувають поширеного використання автоматичні системи фенотипування та відбору його сім'янок [2,3]. Науковцями Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України (ІОК НААН) створено автоматичну систему фенотипування та відбору генетичного матеріалу соняшнику [4]. Так як роботи по дослідженню установки тривають, то необхідними заходами є її функціональні випробування.

Мета досліджень: Провести випробування системи автоматичного фенотипування та відбору насіння соняшнику з удосконаленим блоком дозування поодинокого насіння на основі спірального вібраційного живильника.

Результати досліджень: Будова та зовнішній вигляд установки представлено на рисунку 1. Цей пристрій призначений для підвищення якості підготовки насіннєвого матеріалу соняшнику, відповідно до вимог Державних стандартів України: ДСТУ 2240-93 [5] і ДСТУ 4138-2002 [6], та входить до складу прецизійної технологічної лінії сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику. Функціями установки є автоматичне визначення морфологічних ознак кожної окремої сім'янки (форма насінини, довжина, ширина, товщина, колір забарвлення, маса тисячі насінин та ін.), проведення біоінформативного аналізу даних, автоматичного виконання статистичного оцінювання якості даних, реалізація сортування насіння в селекції олійних культур, проведення добору за вказаними властивостями при виконанні початкових етапів процесу селекції. У випробовуваному зразку удосконалено блок дозування поодинокого насіння. Створення рівномірного дозованого потоку кожної дослідної сім'янки, забезпечено спіральним вібраційним живильником з обґрунтованими його конструктивно-технологічними параметрами. Цей пристрій виконує функції акумулюючої ємності, в яку завантажується партія дослідного насіння соняшнику, а також за рахунок конструктивних особливостей чаші і обґрунтованих законів її віброруху, забезпечується функція транспортування та дозування поодинокого насіння з рівномірним подаванням його на стрічковий транспортер, що подає сім'янки до зони їх опромінення та сканування.

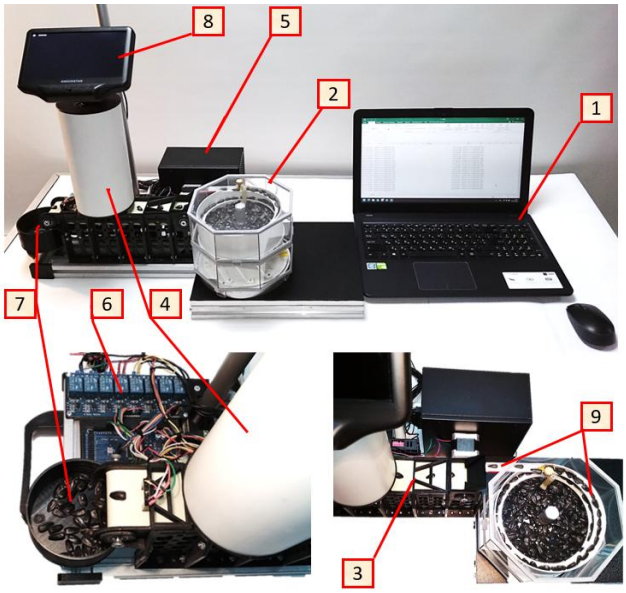


Рис. 1 – Вигляди системи для автоматичного фенотипування та відбору насіння соняшнику з удосконаленим блоком дозування поодинокого насіння на основі спірального віброживильника

1 – електронно-обчислювальна машина (комп'ютер); 2 – блок дозування поодинокого насіння; 3 – блок транспортування насіння; 4 – блок опромінення та сканування сім'янок; 5 – блок живлення електричних елементів; 6 – блок керування мехатронними елементами установки; 7 – блок вимірювання кількості та маси сім'янок кожної дослідної партії; 8 – цифрова фотокамера; 9 – дозоване насіння соняшнику

Виробничу перевірку системи автоматичного фенотипування та відбору з розробленим блоком дозування проводили відповідно до розробленого плану на базі ІОК НААН. На випробуванні були використані суміші насіння соняшнику таких видів: зразок №1− сорт Запорізький кондитерський (ІОК НААН) (Такий сорт обрано як еквівалент кондитерських сім'янок соняшнику, які характеризуються великою крупністю та особливістю своєї форми), зразок №2 − сорт Прометей (ІОК НААН) (Такий сорт обрано як еквівалент олійних сім'янок соняшнику, які характеризуються властивими їм розмірами та формами). Вологість насіння соняшнику – 7,6%. Ступінь попереднього очищення насіння соняшнику − первинне очищення (насіння пройшло обробку на лабораторному розсійнику та аеродинамічному сепараторі). Маса тисячі сім'янок: зразок №1 − сорт Запорізький кондитерський (ІОК НААН) − 132 г, зразок №2 − сорт Прометей (ІОК НААН) − 62 г. Умови мікроклімату лабораторії: температура повітря− 22°С, відносна вологість повітря – 55%.

У якості критеріїв перевірки було прийнято такі показники: продуктивність установки, г/год; наявність виникнення локальних скупчень насінин соняшнику на рухомій стрічці стрічкового транспортеру установки; характер віброруху насіння по спіральному жолобі чаші віброживильника; повнота використання завантаженого насіння в чашу віброживильника; загальна електрична потужність установки автоматичного фенотипування (Вт).

Результати випробувань вказують, що відповідно до прийнятих критеріїв перевірки, отримано наступні дані:

− продуктивність системи автоматичного фенотипування становила при роботі з насінням зразку №1 − 222,3 г/год, зразку №2 − 95,2 г/год;

− при контрольній перевірці та спостереженнями за роботою системи автоматичного фенотипування насіння соняшнику, не відмічено появу локальних скупчень насінин соняшнику на рухомій стрічці, що характеризує повну синхронність швидкості руху стрічкового транспортеру з продуктивністю та якістю дозування насіння соняшнику спіральним віброживильником;

− характер віброруху насіння соняшнику обох зразків по спіральному жолобі чаші віброживильника був рівномірний (зі сталою швидкістю руху) та стабільний (без заторів та локальних нагромаджень насіння);

− конструктивно-технологічні параметри вібраційного спірального живильника, забезпечували відсутність залишків зразків насіння в чаші віброживильника після закінчення процесу його фенотипування;

− загальна електрична потужність установки автоматичного фенотипування та відбору насіння соняшнику при роботі з прийнятими зразками насіннєвого матеріалу №1 та №2 становила 100,74 Вт.

Висновки. Отже, система для автоматичного фенотипування та відбору насіння соняшнику з удосконаленим блоком дозування поодинокого насіння на основі спірального віброживильника відповідає поставленим критеріям та може використовуватись в селекційному процесі по виготовленню вітчизняного, якісного насіннєвого матеріалу соняшнику.

Список використаних джерел

USDA Foreign Agricultural Service. (2026). Статистичні дані вирощування насіння соняшнику. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz (дата звернення: 24.09.2026).

Jin, C., Zhou, L., Pu, Y., Zhang, C., Qi, H., & Zhao, Y. (2025). Application of deep learning for high-throughput phenotyping of seed: a review. Artificial Intelligence Review, 58(3). https://doi.org/10.1007/s10462-024-11079-5.

Luo, Y., Xu, S., Yuan, H., Liu, S., Xue, H., & Sun, G. (2026). SeedStudio: a unified system for automated seed imaging and continual classification. https://doi.org/10.2139/ssrn.5998849.

Aliiev, E., & Vedmedeva, K. (2025). Automated devices for quantitative phenotyping of sunflower seeds. Техніка та енергетика (Machinery & Energetics), 16(1), 54–64. https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.54.

Держстандарт України. (1993). ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України. 74 с.

Держстандарт України. (2002). ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України. 173 с.

УДК 631.316:620.178.16

ОБҐРУНТУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ УМОВ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Альпідовський В. В., Горбенко О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Лемеші, стрілчасті лапи, диски та інші робочі органи ґрунтообробних машин працюють у безпосередньому контакті з мінеральними частинками ґрунту та належать до найбільш інтенсивно зношуваних елементів машин. Абразивне зношування призводить не лише до втрати матеріалу, а й до зміни геометрії робочої поверхні, кута загострення та товщини леза, що спричиняє збільшення тягового опору і погіршення якості обробітку ґрунту. Тому ресурс робочого органу доцільно оцінювати не тільки за величиною втрати матеріалу, а й за здатністю зберігати функціональну геометрію протягом установленого напрацювання.

Водночас підвищення твердості робочої поверхні не завжди забезпечує необхідну довговічність. Надмірна твердість за недостатньої в'язкості може сприяти утворенню тріщин і викришуванню твердих структурних складових під час ударної взаємодії з камінням та іншими твердими включеннями ґрунту. Отже, перспективним є поєднання зносостійкого поверхневого шару з достатньо міцною та в'язкою основою.

Аналіз останніх досліджень.Абразивне зношування робочих органів ґрунтообробних машин визначається сукупною дією властивостей матеріалу деталі, характеристик ґрунту та режимів роботи. До основних чинників належать гранулометричний склад і вологість ґрунту, розмір та форма абразивних частинок, швидкість руху, глибина обробітку, навантаження, геометрія та стан поверхні робочого органу. Сучасні дослідження показують, що за певного співвідношення твердості поверхні та абразивних частинок переважають механізми мікрорізання і мікроплужіння, тоді як надмірне підвищення твердості може супроводжуватися мікротріщиноутворенням, фрагментацією та викришуванням твердих фаз. Тому під час проєктування зносостійкого шару необхідно забезпечувати раціональне співвідношення твердості та в'язкості матеріалу [1, 2].

Важливим експлуатаційним чинником є швидкість руху ґрунтообробного агрегату. Експериментально встановлено, що її збільшення може призводити до інтенсифікації абразивного зношування робочих органів, причому характер залежності залежить від властивостей ґрунтового середовища. Нерівномірність зношування окремих ділянок робочої поверхні також призводить до передчасної втрати функціональної форми деталі, тому зміцнення доцільно диференціювати відповідно до інтенсивності зношування окремих зон [3].

Серед технологій підвищення зносостійкості застосовують використання легованих і зносостійких сталей, термічне оброблення, наплавлення, термічне напилення та нанесення функціональних покриттів. Огляд сучасних досліджень підтверджує перспективність поверхневого зміцнення робочих органів, оскільки воно дає змогу поєднати властивості міцної основи та зносостійкого поверхневого шару.

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування доцільності комбінованого зміцнення робочих поверхонь ґрунтообробних машин з урахуванням механізмів абразивного зношування, умов експлуатації та вимог до збереження їх функціональної геометрії.

Результати досліджень. Для порівняльного оцінювання ефективності технологій зміцнення доцільно контролювати гранулометричний склад, вологість і щільність ґрунту, наявність твердих включень, швидкість та глибину обробітку, навантаження, геометричні параметри і шорсткість робочої поверхні, а також фактичне напрацювання деталі. Такий комплекс показників дає змогу відокремити вплив властивостей зміцненого шару від впливу змінних умов експлуатації.

Аналіз технологій зміцнення показує, що використання зносостійких сталей забезпечує підвищені властивості всього об'єму деталі, хоча основне зношування локалізоване в поверхневому шарі [4]. Термічна обробка поширюється на значну частину перерізу і за невдалого вибору режимів може спричиняти деформації та залишкові напруження. Наплавлення, навпаки, дає змогу локально формувати зносостійкий шар на найбільш навантажених ділянках, але його ефективність залежить від хімічного складу, мікроструктури та характеру зчеплення з основним металом.

Перспективним є поєднання декількох технологічних впливів, за якого функції міцності основи та зносостійкості поверхні розподіляються між різними структурними елементами. Сучасні експериментальні дослідження показують, що комбінування термічного оброблення з нанесенням зносостійкого покриття може підвищувати опір абразивному зношуванню порівняно з окремим застосуванням відповідних технологій. Перспективність комплексних поверхневих технологій для робочих органів ґрунтообробних машин також підтверджується сучасними дослідженнями електрошлакового наплавлення з модифікуванням покриття.

Важливим параметром є товщина зміцненого шару. Надмірно мала товщина може призвести до швидкого його вичерпання та переходу зношування на основний метал, тоді як збільшення товщини понад технологічно та експлуатаційно необхідний рівень підвищує витрати матеріалу. Тому її необхідно встановлювати з урахуванням прогнозованої інтенсивності зношування, напрацювання та властивостей ґрунтового середовища.

Окрему увагу необхідно приділяти відповідності лабораторних методів випробування реальним умовам експлуатації. Стандартизовані абразивні випробування дають змогу порівнювати матеріали за контрольованих умов, однак не повністю відтворюють вплив вологості, каміння, швидкості руху та

інших експлуатаційних факторів. Тому доцільним є поєднання лабораторних досліджень із польовими випробуваннями. Такий підхід відповідає сучасним рекомендаціям щодо оцінювання зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки.

Ефективність комбінованого зміцнення доцільно оцінювати за комплексом показників: інтенсивністю зношування, величиною збереження робочої геометрії, твердістю та структурою поверхневого шару, міцністю його зчеплення з основою, опором тріщиноутворенню, зміною тягового опору, технологічністю та економічною ефективністю.

Висновки. Абразивне зношування робочих органів ґрунтообробних машин є багатофакторним процесом, інтенсивність якого визначається властивостями матеріалу, характеристиками ґрунту та режимами роботи. Тому оцінювання ефективності зміцнення необхідно проводити за комплексом контрольованих експлуатаційних і матеріалознавчих параметрів.

Підвищення твердості поверхні не може бути єдиним критерієм ефективності зміцнення. Для забезпечення довговічності необхідно одночасно враховувати в'язкість основи, структуру поверхневого шару, його міцність зчеплення та опір тріщиноутворенню.

Комбіноване зміцнення є перспективним напрямом підвищення довговічності робочих органів, оскільки дає можливість цілеспрямовано формувати необхідні властивості поверхні при збереженні конструкційної міцності основного металу.

Раціональні параметри комбінованого зміцнення повинні встановлюватися експериментально з урахуванням умов експлуатації, інтенсивності зношування окремих ділянок робочої поверхні та необхідного ресурсу деталі.

Список використаних джерел

1. Yazıcı A. Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 245. Article 106161. DOI: 10.1016/j.still.2024.106161.

2. Malvajerdi A. S., et al. Wear and coating of tillage tools: A review. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Issue 6. Article e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

3. Борак К. В. Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. *Наукові праці ВНТУ*. 2022. № 1. С. 19–30. DOI: 10.31649/2307-5376-2022-1-19-30.

4. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 30–36. DOI: 10.31891/2307-5732-2020-281-1-30-36.

5. Application of continuum damage mechanics for prediction of wear in tillage tools. *Smart Agricultural Technology*. 2025. Vol. 10. Article 100852. DOI: 10.1016/j.atech.2025.100852.

УДК 631.372:519.876.5

КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ МТА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАФІВ ЗВ'ЯЗКІВ ТА КЛАСИЧНОЇ МЕХАНІКИ ЛАГРАНЖА

Артемов М. П., Макаренко М. Г.
Державний біотехнологічний університет

Постановка проблеми. Робота машинно-тракторного агрегату (МТА) у польових умовах характеризується змінним тяговим опором, зумовленим неоднорідністю ґрунту, зміною глибини обробітку, швидкості руху та завантаження робочих органів. Таке збурення передається через сільськогосподарську машину, тягово-зчіпний пристрій, рушій і трансмісію до силової установки, формуючи нестаціонарні силові та енергетичні процеси.

Експериментальні дослідження ґрунтообробного агрегату John Deere 9470R + Gaspardo DIABLO-700 підтверджують виражену зміну тягового навантаження в часі [1]. Роботу опубліковано у матеріалах міжнародної конференції *Engineering for Rural Development* 2024 із DOI 10.22616/ERDev.2024.23.TF220. Тому для дослідження динаміки МТА доцільно використовувати не лише умову (F_d=const), а загальнішу залежність

$$F_d = F_d(t) \tag{1}$$

де $F_d(t)$ – змінний у часі тяговий опір.

Для перехідного режиму важливо визначати не тільки швидкості, сили та моменти, а й часовий перерозподіл механічної енергії. Це зумовлює доцільність спільного застосування рівнянь Лагранжа другого роду та енергетично-структурного методу Bond Graph.

Аналіз останніх досліджень. Моделювання динаміки колісного трактора за змінних навантажень розглянуто Калининим Є. І. та співавторами [2]. Автори зазначають, що робота МТА супроводжується безперервною зміною навантаження, яка впливає на частоту обертання колінчастого вала та потужність двигуна. Динаміку трансмісії колісного трактора у складі ґрунтообробного агрегату досліджено також у роботі Задорожного В. П. [3].

Питання формування тягових характеристик машинно-тракторних агрегатів досліджували Макаренко М. Г. та співавтори. У роботі [4] обґрунтовано співвідношення мас тягового засобу та сільськогосподарських машин із позицій енергетичного критерію. У роботах розглядається вплив розміщення енергосилового модуля блочно-модульного агрегату на показники зчеплення рушіїв з опорною поверхнею.

Подальший розвиток цього напряму пов’язаний із застосуванням інтелектуальних автоматизованих систем керування тракторами [5]. Відповідна робота Артьомова М. П. та співавтори, присвячена саме теоретичним основам інтелектуальних систем керування складними мобільними машинами. Сучасним продовженням цього підходу є концепція цифрового двійника МТА [6], у якій

враховуються тяговий опір, параметри ґрунту, буксування та енергетичний режим агрегату.

Теоретичні основи Bond Graph як методу моделювання потоків енергії в динамічних системах систематизовано D.C. Karnopp, D.L. Margolis і R.C. Rosenberg [7]. Водночас взаємоузгоджене використання лагранжівського та Bond Graph-представлень для аналізу перехідного тягового процесу МТА потребує подальшого розвитку.

Мета досліджень. Метою роботи є розроблення взаємоузгодженої динамічної та енергетично-структурної моделі машинно-тракторного агрегату для дослідження перехідних процесів за змінного тягового навантаження.

Результати досліджень. МТА представлено чотириступеневою редукованою механічною системою з узагальненими координатами

$$q = [\varphi_s, \varphi_w, x_T, x_M]^T, \quad (2)$$

де φ_s, φ_w – кутові переміщення приведеної силової лінії та ведучих коліс;

x_T, x_M – поздовжні переміщення трактора і сільськогосподарської машини.

Внутрішні деформації системи:

$$\delta_t = \varphi_s - \varphi_w\ ,\ \ \delta_x = r\varphi_w - x_T,\ \ \delta_h = x_T - x_M\ . \quad (3)$$

Силові фактори визначено залежностями

$$M_t = k_t\delta_t + c_t\dot{\delta}_t\ ,\ \ F_x = k_x\delta_x + c_x\dot{\delta}_x\ ,\ \ F_h = k_h\delta_h + c_h\dot{\delta}_h\ . \quad (4)$$

На основі рівнянь Лагранжа другого роду отримано:

$$J_s\dot{\omega}_s = M_s - M_t\ ,\ \ J_w\dot{\omega}_w = M_t - rF_x\ , \quad (5)$$

$$m_T\dot{v}_T = F_x - F_h\ ,\ \ m_M\dot{v}_M = F_h - F_d(t). \quad (6)$$

Для тієї самої фізичної структури сформовано Bond Graph-модель. Інерційні параметри J_s, J_w, m_T, m_M представлені елементами I; пружні властивості – елементами C із параметрами $1/k_t$, $1/k_x$, $1/k_h$; демпфування – елементами R; перетворення обертального руху у поступальний – трансформатором TF:r. Такий спосіб представлення відповідає класичній методології Bond Graph [7].

Енергетичний баланс системи отримано у вигляді

$$P_{in} = \frac{dE_{st}}{dt} + P_d + P_{diss}\ . \quad (7)$$

де $P_{in} = M_s \cdot \omega_s$ – вхідна механічна потужність; $P_d = F_d \cdot \vartheta_M$ – технологічна потужність; E_{st} – накопичена механічна енергія; P_{diss} – потужність дисипативних втрат.

Чисельний експеримент виконано для ступінчастого збільшення тягового опору від 86,5 до 95,0 кН, що відповідає діапазону навантажень, характерному для дослідженого глибокорозпушувального агрегату [1]. За початкової швидкості 2,50 м/с після зміни навантаження швидкість встановлювалася приблизно на рівні 2,40 м/с. Максимальна сила у тяговому зв'язку становила 96,70 кН, максимальний момент силової лінії – 95,14 кН·м, коефіцієнт динамічності – K_d=1,018, а час встановлення швидкості – близько 1,16 с.

Безпосередньо після зміни навантаження технологічна потужність становила 237,50 кВт, тоді як початкова вхідна потужність – 216,25 кВт.

Короткочасна різниця 21,25 кВт компенсувалася зменшенням запасеної механічної енергії.

Похибка замикання інтегрального енергетичного балансу становила близько $1{,}24 \cdot 10^{-7}$%\), що підтверджує чисельну узгодженість реалізації. Частотний аналіз показав, що за частоти зовнішнього збурення 0,5 Гц коефіцієнт передачі сили становить 0,828, а максимальне динамічне підсилення $K_{A,max} \approx 2{,}36$ виникає для прийнятої параметризації поблизу 2,63 Гц.

Висновки

Розроблено взаємоузгоджені лагранжівську та Bond Graph-моделі МТА за змінного тягового опору. Показано, що лагранжівське представлення дає змогу визначати часові зміни кінематичних і силових параметрів, а Bond Graph – аналізувати передачу, накопичення та дисипацію механічної енергії.

Чисельне моделювання підтвердило виникнення короткочасного перерозподілу потужності та динамічного перевищення сили у тяговому зв’язку після зміни тягового опору. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальну ідентифікацію параметрів моделі та її використання як фізико-математичного компонента цифрового двійника МТА [6].

Список використаних джерел

1. Artiomov M., Anikeev O., Kaluzhnij A., Tsyganenko M., Pushkarenko O. Dynamics of deep loosener loading during agrotechnical tillage operations. *Engineering for Rural Development*. 2024. Vol. 23. P. 1055–1061. DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF220.

2. Калинин Є. І., Середа Б. П., Колесник І. В., Романченко В. М. Математична модель руху колісного трактора з обліком його вертикальних і горизонтальних коливань. *Математичне моделювання*. 2022. № 2(47). С. 114–126. DOI: 10.31319/2519-8106.2(47)2022.268411.

3. Задорожний В. П. До дослідження динаміки трансмісії колісного трактора працюючого у складі ґрунтообробного агрегату. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. 2026. № 28. С. 96–108. DOI: 10.31359/2311.441X.2026.28.96.

4. Макаренко М. Г., Макаренко О. М., Григораш О. Г. Підвищення тягових показників блочно-модульних тягово-приводних агрегатів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 295–304.

5. Артьомов М. П., Подригало М. А., Макаренко М. Г. Вдосконалення тракторів використанням інтелектуальних автоматизованих систем управління. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2019. Вип. 199. С. 160–165.

6. Artyomov M. P., Makarenko M. G., Pastushenko S. I. Digital twin of a machine-tractor unit as a tool for optimizing operating modes in variable field conditions. *Science Journal «Technical Service of Agriculture, Forestry and Transport Systems»*. 2026. No. 28. P. 16–29. DOI: 10.31359/2311.441X.2026.28.16.

7. Karnopp D. C., Margolis D. L., Rosenberg R. C. *System Dynamics: Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems*. 5th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2012. DOI: 10.1002/9781118152812.

UDC 631.356.22

ENERGY EFFICIENCY OF THE ROOT CROP TOP-HARVESTING PROCESS

Viktor Baranovsky
Ivan Puluj Ternopil National Technical University,
Viktor Tesliuk, Volodymyr Onyshchenko
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Problem statement. The energy efficiency of technological processes serves as a primary benchmark – or criterion – for modern trends in the production of diverse industrial goods, including agricultural products within the global economy.

The initial stage of the root crop harvesting process is the energy-intensive operation of cutting the bulk of the tops from the root crowns; the presence of residual tops on harvested root crops reduces raw material quality and the yield of processed products.

The approach to reducing energy consumption during the harvesting of the bulk of root crop tops is based on a scientific hypothesis proposing the elimination – from the design and layout of the top-harvesting module – of an intermediate link or transport device (specifically, an auger conveyor installed in a guide trough) [1].

Analysis of recent research. Among the various technologies for harvesting beet tops, the most common method is a two-stage process using a top-harvesting module; this involves cutting the bulk of the tops with a blade – using a non-tracing cutting principle – and subsequently trimming the remaining tops from the root crop crowns using a non-supported cutting principle.

The standard technology for harvesting the bulk of the tops – implemented by the top-harvesting modules of modern root crop harvesters – involves cutting the main mass of tops with a rotary topper 3 (Fig. 1), followed by transporting the chopped tops via an auger 9 and discharging them onto the surface of the harvested field.

The additional intermediate operation of transporting the cut and chopped tops via an auger conveyor significantly increases the total energy consumption of the top-harvesting process.

The technology for harvesting the bulk of the tops proposed by the company Grimme (Germany) – which involves depositing the cut tops into the inter-row spaces of unharvested root crops–has not found widespread adoption in commercial root crop harvesting operations. A significant portion of the main mass of cut tops fell into the working zone of the row containing unharvested root crops, leading to clogging of the space around the digging components and a substantial increase in the amount of plant

impurities in the harvested roots.

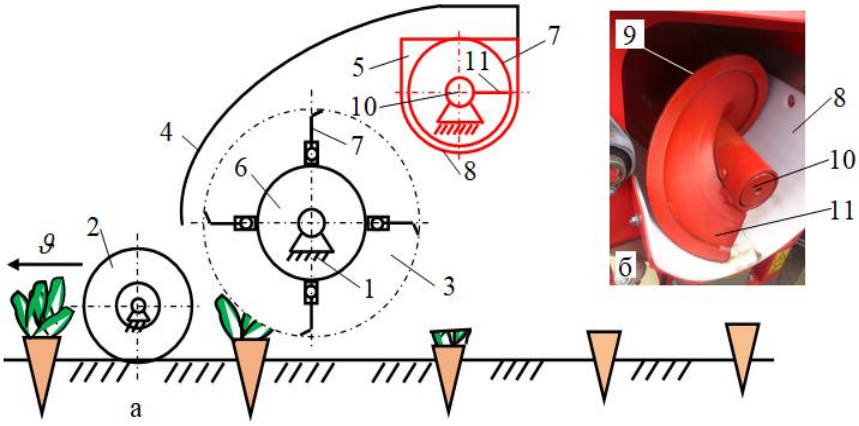


Fig. 1. Structural diagram of the top-harvesting module (a) and general view of the auger conveyor (b): 1 – frame; 2 – wheel; 3 – topper; 4 – housing; 5 – auger conveyor; 6, 10 – drum; 7 – blade; 8 – trough; 9 – auger; 11 – flight

Research objective. To improve the technological efficiency of root crop harvesting by reducing the energy consumption of the process of harvesting the main mass of tops and decreasing the amount of plant impurities during root crop excavation, through the refinement of the tops-harvesting module's design.

Research results. To achieve this objective, and based on the conducted analysis, we proposed an improved method for harvesting the main mass of root crop tops [1] and a structural-technological layout for a tops-harvesting module [1] to implement the proposed method.

To conduct experimental studies on the technological process of harvesting the main mass of tops from *Beta vulgaris* sugar beet roots (average tops yield of 150 centners/ha), a prototype of a mounted three-row tops-harvesting module was used (Fig. 2).

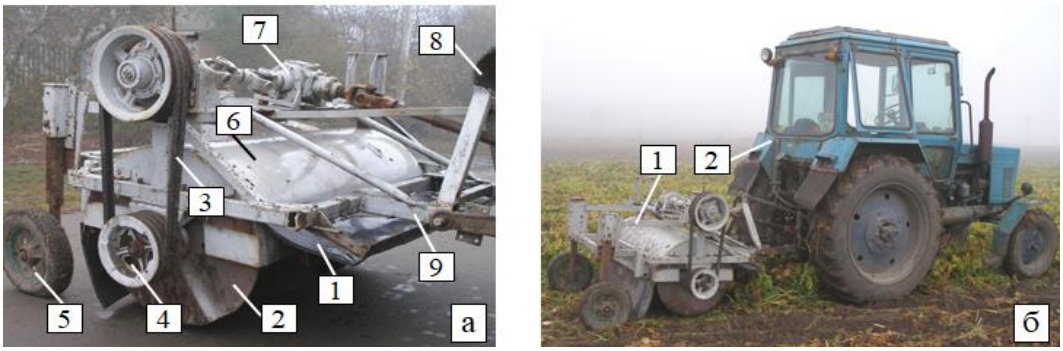


Fig. 2. General view: of the module (a), 1 – frame; 2 – dividing disc; 3 – drive; 4 – tops cutter; 5 – wheel; 6 – housing; 7 – tops cutter drive; 8 – tractor mounting system; 9 – drawbar; of the unit (b): 1 – module; 2 – MTZ-80 tractor

The implementation of the improved method for harvesting the main mass of tops proceeds as follows. As the module moves, the blades of the rotary topper 4 (Fig. 2) simultaneously generate a directed airflow through their rotation and sever the bulk

of the tops from the root crops; the severed tops travel along the path of the guide housing 6 into the inlet of the guide channel – mounted on the housing's inner surface – and move along this path to the outlet, proceeding then to a flat screen positioned between the rows of unharvested root crops, where the chopped tops are deposited onto the field surface in the area of the dividing discs 2.

Experimental studies of the improved topper module were conducted using a planned two-factor experimental design with three variation levels for the input factors (Table 1).

Table 1. Input factors and their variation levels

Factor name	Variation interval	Factor variation levels		
		Lower (-1)	Zero (0)	Upper (+1)
Module travel speed ϑ_M, km/h	1,5	6,5	8,0	9,5
Top yield U, kg/m²	0,2	1,4	1,6	1,8

Following confirmation of the empirical model's adequacy using Fisher's F-test, mathematical models in terms of natural factors were obtained; these describe the functional nature of the change in specific top mass M_{ni} at rotary topper rotation speeds of 400, 600, and 800 rpm, respectively:

$$M_{400} = -1.56 - 1.42\vartheta + 26.5U + 0.25\vartheta U + 0.21\vartheta^2 - 1.17U^2; \quad (1)$$

$$M_{600} = -3.89 - 1.5\vartheta + 25.17U + 0.38\vartheta U + 0.21\vartheta^2 - 1.17U^2; \quad (2)$$

$$M_{800} = -26.89 + 1.5\vartheta + 31.83U + 0.08\vartheta^2 - 2.17U^2. \quad (3)$$

The technological efficiency – or feasibility – of applying the new method for cutting the main mass of sugar beet tops and the improved design of the topping module is confirmed by the graphical interpretation of the results obtained from the field experiments (Fig. 3).

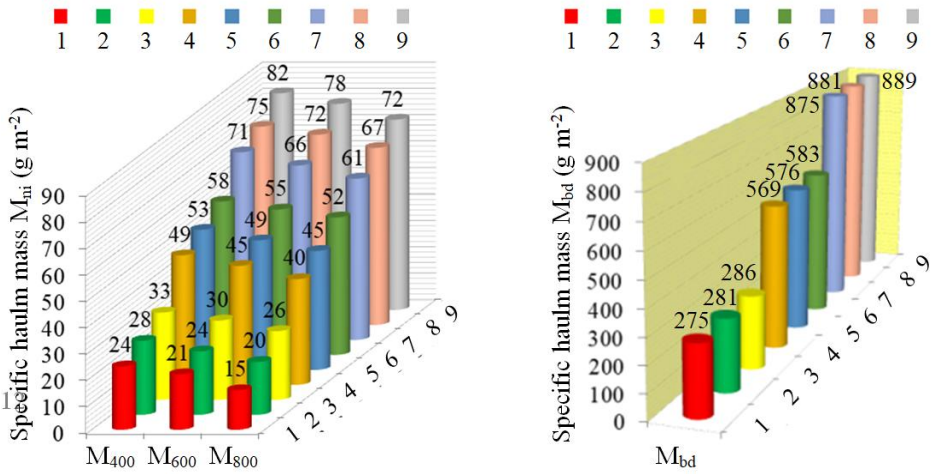


Fig. 3. Diagram of the specific mass of tops deposited in the protective zone of the row of unharvested root crops for the improved and basic module designs, respectively: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – numerical values of the factor level combinations ϑ and U

The dominant factor significantly influencing the substantial change in the specific mass of tops M_{ni} is the tops yield U; as U increases from 1 to 3 kg/m², the specific mass of tops M_{ni} increases on average by a factor of 2.7 to 4.2.

Conclusion. The use of the improved tops-harvesting module design makes it possible to reduce the specific mass of cut and deposited tops in the protective zone of the row of unharvested root crops by 9 to 11 times compared to the basic design, representing a promising direction for further research into the root crop harvesting process.

References

1. Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів / Барановський В.М., Береженко Є.Б., Паньків М.Р. та ін. Тернопіль, 2022. 294 С.

УДК 631.316.02:539.4

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДИСКОВОЇ БОРОНИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Біловод О. І., Макар О. З.
Полтавський державний аграрний університет

Надійність робочих деталей ґрунтообробних машин відіграє вирішальну роль у продуктивності сільськогосподарської техніки, оскільки саме ці компоненти приймають на себе основні зусилля під час обробки ґрунту та піддаються повторюваним ударним навантаженням протягом усього терміну експлуатації. Одним із таких компонентів є пружинний зуб дискової борони, який виконує подвійну функцію: утримує диск під необхідним кутом атаки та поглинає ударні сили, що виникають при контакті з камінням, кореневими системами та іншими твердими включеннями в ґрунті.

Використання пружинних зубців для кріплення робочих елементів диска до рами, на відміну від їхніх жорстких аналогів, забезпечує коливальний рух робочих елементів, зумовлений коливаннями опору ґрунту, покращує пристосування знаряддя до рельєфу поля, зменшує енергоспоживання та підвищує ефективність процесу обробітку [1–3]. Водночас практичний досвід експлуатації дискових агрегатів із гнучкими зубцями [2] свідчить, що позитивні результати досягаються лише за певних ґрунтових умов, швидкостей руху та глибин обробки, тоді як рівень надійності в роботах ще недостатньо вивчені.

Існує кілька наукових підходів до теоретичного обґрунтування використання пружних підйомників. У роботі [4] наведено механіко-математичні моделі взаємодії робочого елемента з пружним підйомником. Дослідження [5] присвячене визначенню оптимальних конструктивних параметрів пружних зубців дискових борін: у ньому проаналізовано методи первинної обробки ґрунту та обґрунтовано параметри дискової борони; однак питанню надійності пружних зубців у цих роботах приділено лише обмежену увагу.

Метою даної роботи є розрахунок напружено-деформаційного стану пружного дискового зубця борони для обробітку ґрунту методом скінченних елементів, що дасть дані для прогнозування його надійності.

На рис. 1 показано зібрану тривимірну модель робочого органу борони, на якій проілюстровано взаємне розташування всіх п’яти компонентів вузла та характер їхніх взаємозв’язків.

Відстань від зовнішнього краю диска, на якій у подальшому розрахунку було застосовано розподілене навантаження, становить 140,00 мм. Уздовж цієї лінії робочу поверхню диска умовно обрізали, оскільки саме крайова зона проникає в ґрунт і під час роботи зазнає максимального тиску. Тому смугу шириною 140 мм, відрізану від периферії, було прийнято за область, на яку діє розподілений тиск.

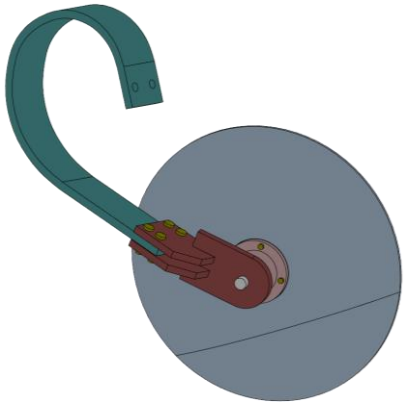
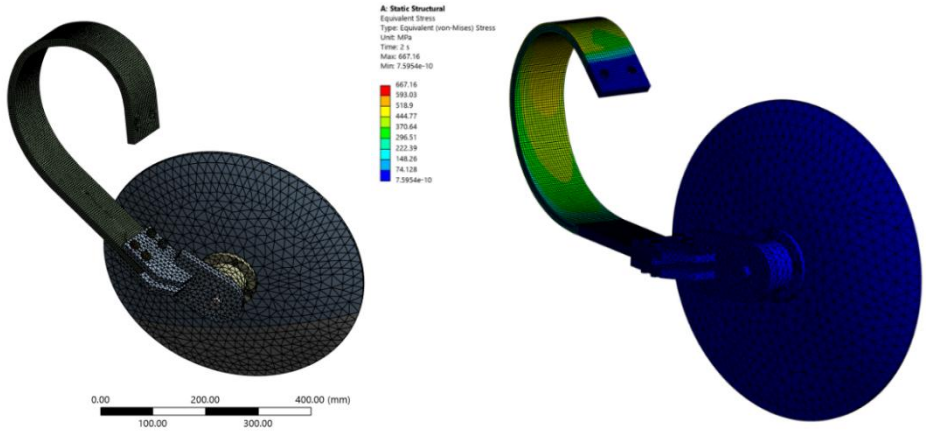


Рис. 1. Загальний вигляд зібраної тривимірної моделі робочого органа борони

На рис. 2а показано загальний вигляд сітки скінченних елементів для всього вузла. Існує помітна різниця в щільності та характері сітки між окремими компонентами: дрібна, рівномірна сітка на пружинній пластині різко контрастує з грубішою тетраедральною сіткою на диску, тоді як в області кронштейна та вузла маточини сітка ще більше ущільнена для більш точного відтворення геометрії переходів та отворів.

На рис. 2б наведено загальну картину розподілу еквівалентних напружень за критерієм фон Мізеса у вузлі кріплення для етапу навантаження, що враховує як силу, що чиниться затискним механізмом (етап 1), так і розподілений тиск ґрунту на поверхню диска (етап 2).

У зоні найбільшого радіуса вигину розпірки еквівалентні напруження на значній площі криволінійної поверхні досягають приблизно 510–595 МПа – саме цей діапазон дає репрезентативну оцінку напруженого стану пружної пластини під впливом прикладеного навантаження.



а) б)

Рис. 2. Загальний вигляд скінченно-елементної сітки моделі робочого органу

Для оцінки ймовірності безвідмовної експлуатації розрахунок було проведено за припущенням нормального розподілу навантажень та параметрів міцності [5]. Відповідно, ймовірність відсутності руйнування має вигляд::

$$R = F_o\left(\frac{n-1}{\sqrt{V_м^2 \cdot n^2 + V_н^2}}\right)$$

де $V_м$ – коефіцієнт варіації міцності; $V_н$ – коефіцієнт варіації навантажень, n – коефіцієнт запасу, який при раптовому руйнуванні дорівнює $n = \sigma_B / \sigma_{max}$, $\sigma_в$ – границя статичної міцності; σ_{max} – максимальні напруження; F_0(x) – функція нормального розподілу.

Враховуючи фізико-механічні властивості сталі 60С2А (залежно від конкретного заводу-виробника та глибини прогартовування 14-міліметрового профілю, фактична границя текучості в серцевині може коливатися в межах 1180 – 1375 МПа [7]), з якої вироблено пружній стояк та при значеннях коефіцієнту варіації міцності на рівні 0,1, а коефіцієнту варіації навантажень на рівні 0,3, отримаємо імовірність безвідмовної роботи на рівні R = 0,996, що забезпечує достатньо високий рівень надійності.

Список використаних джерел

1. Теорія стійкого руху дискової борони / В. В. Адамчук та ін. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2021. Вип. 14 (113). С. 10–22.

2. Ґрунтообробні агрегати на основі дискових робочих органів : монографія / Г. В. Теслюк та ін. Дніпропетровськ : ТОВ «Акцент ПП», 2016. 144 с.

3. Пащенко В. Ф., Онишко М. І., Дорожко І. М., Сєдих К. В. Визначення якісних показників роботи експериментального дискового лущильника. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Механізація с.-г. виробництва. 2011. Вип. 107. Т. 1. С. 195–198.

4. Yang J. Strength Calculation Method of Agricultural Machinery Structure Using Finite Element Analysis. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2024. Vol. 15, No. 10. P. 699–706.

5. Харченко С. О., Анікєєв О. І., Циганенко М. О., Антощенков Р. В., Качанов В. В., Калюжний О. Д., Гаєк Є. А., Сорокотяга Г. В. Польові дослідження борони-лущильника "Дукат-4" з стійками кріплення дисків різної жорсткості. Інженерія природокористування. 2017. № 1. С. 58–62.

6. O. Grynchenko, O. Alfyorov. Mechanical Reliability. Prediction and Management Under Ex-treme Load Conditions. Springer Nature Switzerland AG 2020.

7. ДСТУ ГОСТ 14959:2018. Прокат із ресорно-пружинної вуглецевої та легованої сталі. Технічні умови (ГОСТ 14959-2016, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 35 с.

При підготовці статті використовувалися інструменти штучного інтелекту для пошуку літератури, граматичної перевірки, перекладу тощо. Всі частини тексту, при написанні яких використовувався ШІ, перевірені та відредаговані авторами особисто. Наукові положення, висновки та результати є власним інтелектуальним внеском авторів.

УДК 633.854.78:531.01:620.1

МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ РИЦИНИ

Білокінь Я.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми Рицина є перспективною олійною культурою, насіння якої характеризується високим вмістом олії та специфічними фізико-механічними властивостями. Ефективність технологічних процесів післязбиральної обробки, транспортування, очищення, сушіння та зберігання насіння рицини значною мірою визначається його реологічними властивостями. Зміна вологості, температури, ступеня пошкодження та інших фізичних характеристик насіннєвої маси впливає на її сипкість, ущільнення, опір переміщенню та характер взаємодії з робочими органами технологічних машин.

Особливістю насіння рицини є специфічна форма, поверхня та неоднорідність насіннєвої маси, що зумовлює складний характер її поведінки під час механічного впливу. Недостатня вивченість закономірностей зміни реологічних характеристик залежно від основних технологічних параметрів ускладнює обґрунтування режимів роботи обладнання для транспортування, очищення та переробки олійної сировини. Особливої актуальності набуває визначення взаємозв’язку між вологістю насіння, ступенем його стиснення, швидкістю деформації та опором стисненню насіннєвої маси.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні напрями переробки олійної сировини охоплюють як загальні технологічні схеми механічного пресування й екстракції [1], так і спеціалізовані дослідження фізико-механічних властивостей плодів і

насіння рицини [2, 3]. В огляді V. Patel та співавторів обґрунтовано вирішальну роль температурного режиму підготовки сировини на вихід продукту [8]. Структурно-механічні характеристики м'ятки та її реологічна поведінка досліджувалися у працях В.В. Дідура, В.А. Дідура та О.В. Верещаги [4, 5], де пресований матеріал розглядається як двофазне середовище. Чисельне моделювання процесу відтиску рідкої фази з капілярно-пористого тіла розроблено Я.В. Білоконем і В.В. Дідуром [6]. Вплив ступеня стискання на напруження і залишкову олійність досліджено R. Liu та співавторами [7], а механізми віджимання на основі багатофізичного моделювання – C. Shu та співавторами [9]. Для оптимізації процесів вилучення олії застосовуються методи планування експерименту та поверхні відгуку, висвітлені у працях J. Olaoye, R. Busari, D. Nde, A. Foncha, а також C. Román-Figueroa [10–13].

Мета досліджень. Метою досліджень є формування цілісної методології експериментального визначення реологічних, компресійних і фільтраційних властивостей рициново ї м'ятки, придатної для ідентифікації параметрів математичних моделей пресування та обґрунтування раціональних технологічних режимів.

Результати досліджень. Рицина звичайна (Ricinus communis L) є важливою технічною олійною культурою, олія якої вирізняється високим вмістом рицинолевої кислоти, підвищеною в'язкістю та стійкістю смазочної плівки [1, 8]. Механічне вилучення олії з насіння рицини є складним процесом одночасного деформування, ущільнення і фільтрації двофазного капілярно-пористого матеріалу. Під час пресування м'ятки переміщення рідкої фази супроводжується інтенсивною структурною перебудовою твердого каркаса та зміною проникності пористого середовища [4, 5]. Оскільки пресована м'ятка описується як двофазна система, де ефективне напруження сприймається твердим скелетом, а відтиск олії підпорядковується градієнту порового тиску, кінцевий вихід олії суттєво залежить від швидкості та тривалості навантаження [6, 7, 9]. Серйозною методичною проблемою є також початкова неоднорідність насипного шару в зеєрній камері, усунення якої вимагає уніфікації початкової точки відліку деформації.

Розроблена експериментальна методологія базується на використанні термостатованого зеєрного циліндра діаметром 100 мм із перфорованим дном на випробувальній машині ІП-1000. Для забезпечення відтворюваності дослідів передбачено стандартизовану волого-теплову підготовку наважок м'ятки масою 220 г (початкова олійність 53 %, лушпинність 7,5 %) у герметичних патронах протягом 45 хв при заданій температурі. На першому етапі навантаження здійснюється підпресовування для фіксації єдиної початкової бази Sn, що ліквідує похибку випадкової насипної щільності. Основне пресування проводиться протягом 8 хв (96 часових відліків усадки з інтервалом 5 с) за трьохкратної повторності.

Основним відгуком деформування є безрозмірний ступінь стискання $\beta = 1 - (Sk - Si)/(Sk - Sn)$, де Sk, Si, Sn – відповідно кінцеве, поточне та початкове показання індикатора. Одночасно контролюються коефіцієнт вилучення олії k0 та залишкова олійність qз (визначена екстракцією в апараті Сокслета). Реологічні

параметри – коефіцієнт пропорційності K0 та показник нелінійності γ – ідентифікуються шляхом мінімізації суми квадратів відхилень між експериментальною та розрахунковою кривими усадки із контролем якості апроксимації за коефіцієнтом детермінації R^2 та аналізом залишків.

Для оцінювання сукупного впливу вологості W (5,5–13,5 %), температури T (90–120 °C) та тиску P (0,7–5,1 МПа) реалізовано послідовний багатофакторний експеримент. Отримані залежності описуються рівняннями поверхні відгуку другого порядку з перевіркою однорідності дисперсій за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів за t-критерієм Стьюдента та адекватності моделей за F-критерієм Фішера (при $\alpha = 0,05$).

Висновки.

1. Сформовано 8-етапну експериментальну методологію дослідження реологічних властивостей рицинової м'ятки, яка забезпечує комплексну оцінку компресійних і фільтраційних характеристик сировини.
2. Метод нормування усадки від точки Sn дозволяє усунути системну похибку ущільнення повітряних порожнин і забезпечує високу відтворюваність експериментальних даних.
3. Отримані математичні моделі та ідентифіковані параметри K0 і γ утворюють параметричну базу для оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів.

Список використаних джерел

1. Дідур В. В. та ін. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2022. Вип. 12, т. 3. С. 180–189.

2. Алієв Е. Б., Головченко В. В. Результати лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей плодів і насіння рицини. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2025. № 1 (128). С. 12–21.

3. Журавель Д. П., Дідур В. В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини на енергетичну біосировину: монографія. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. 275 с., іл.

4. Дідур В. В. та ін. В. Структурно-механічні властивості м'ятки насіння олійних культур. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2017. Вип. 5. С. 7–25.

5. Didur V. A.Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. Advances of Science: Proceedings of the International Scientific Conference. Karlovy Vary; Kyiv: MCNIP, 2018. P. 609–618.

6. Білокінь Я. В., Дідур В. В. Обґрунтування та розв'язання задачі відтиску рідкої фази з капілярно-пористого тіла. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2026. № 2. С. 73–80.

7. Liu R., Xu F., Xiao Z., Li C., Li H., Zeng F., Ye H. Effects of compression ratio on variation of stresses and residual oil of cake in pressing process of castor beans and its curve fitting. Journal of Central South University. 2015. Vol. 22. P. 4476–4482.

8. Patel V. R., Dumancas G. G., Viswanath L. C. K., Maples R., Subong B. J. J. Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. Lipid Insights. 2016. Vol. 9. P. 1–12.

9. Shu C., Yang L., Xu Z., Wu J., Chen H., Cui B., Wang Z., Xiao X., Song S., Zhang Y. Research on the castor oil pressing extraction mechanism based on multi-physics coupling simulation. Journal of Food Science. 2024. Vol. 89. P. 6507–6522.

10. Olaoye J. O., Busari R. A. Optimization of mechanical expression of castor seeds oil (Ricinus communis) using response surface methodology. Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment. 2017. Vol. 13, No. 5. P. 692–704.

11. Nde D. B., Foncha A. C. Optimization methods for the extraction of vegetable oils: a review. Processes. 2020. Vol. 8, No. 2. Article 209.

12. Román-Figueroa C., Cea M., Paneque M., González M. E. Oil content and fatty acid composition in castor bean naturalized accessions under Mediterranean conditions in Chile. Agronomy. 2020. Vol. 10, No. 8. Article 1145.

13. Журавель Д. П., Дідур В.В., Білоконь Я.В. Математичне моделювання процесу механічного вилучення олії з насіння рицини. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2026. Вип. 16, Т. 1. С. 32-47.

УДК 631.312:630*232.21

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЛІСОВИХ ПЛУГІВ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ПЕРЕЗВОЛОЖЕНИХ ҐРУНТІВ

Білоус М. М., Щербак А. А.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Створення та відтворення лісових насаджень передбачає обробіток ґрунту як важливу технологічну операцію, спрямовану на формування сприятливих умов для приживлення та росту лісових культур. Ефективність механізованого обробітку визначається відповідністю способу підготовки ділянок згідно конкретних природно-виробничих умов, зокрема вологості, механічному складу та фізико-механічним властивостям ґрунту, ступеню його задерніння й стану лісокультурної площі[1, 2].

Особливо складними є вологі, сирі та надмірно зволожені ґрунти з високою пластичністю. За таких умов традиційні лемішні плуги можуть формувати суцільну скибу ґрунту, яка укладається біля борозни та ускладнює подальше виконання посадкових робіт. Для таких умов доцільним є створення штучних мікропідвищень. Водночас механізована підготовка ділянок повинна забезпечувати необхідний технологічний ефект без надмірного порушення ґрунту, оскільки інтенсивність механічного впливу може визначати тривалість змін його фізичних та екологічних властивостей [3, 4].

У сучасних дослідженнях розглядаються різні конструктивні та технологічні рішення для створення сприятливих посадкових місць. Зокрема, аналіз способів механічного обробітку ґрунту підтверджує ефективність формування мікропідвищень, з позитивним впливом на приживлюваність і початковий ріст окремих деревних порід [1, 5]. Це свідчить про перспективність удосконалення робочих органів машин у напрямі більш цілеспрямованого впливу на ґрунт.

Метою роботи є обґрунтування напрямів удосконалення конструкції лісових плугів для обробітку вологих, сирих та перезволожених ґрунтів із високою пластичністю під створення лісових культур шляхом підвищення якості формування мікропідвищень і зменшення небажаного зміщення ґрунтової скиби під час її подрібнення.

На дренованих ґрунтах можливе висадження сіянців у дні плужних борозен, а на вологих, сирих та надмірно зволожених ґрунтах більш доцільним є формування штучних мікропідвищень. Такий підхід дає змогу розмістити кореневу систему рослин вище перезволоженого дна борозни.

Вивчаючи конструкції лісових плугів та додаткових робочих органів, призначених для складних ґрунтових умов, було встановлено, що дискові батареї добре подрібнюють відвальну скибу, а гладкі котки забезпечують її притискання, але не подрібнення. Тому перспективним є комбінований робочий вузол із дисковими ножами та конічними котками-ущільнювачами, який дає змогу поєднати подрібнення ґрунтового пласта з його утриманням та ущільненням біля краю борозни.

Основним недоліком застосування дискових батарей для обробітку скиби є те, що під час її подрібнення може відбуватися одночасне бокове зміщення ґрунту. За результатами досліджень, зі збільшенням кута атаки дискової батареї від 10° до 30° максимальна сила бокового відхилення зростала приблизно з 0,30 до 0,65 кН, тобто на 117 %.

Зазначена особливість є важливою з погляду конструктивного вдосконалення робочого органу, оскільки під час формування мікропідвищення необхідно не лише подрібнити скибу, а й утримати продукти його руйнування в заданому положенні.

Іншим конструктивним елементом, який може застосовуватися для впливу на відвальну скибу, є гладкий циліндричний коток. Його використання дає змогу притискати її до поверхні ґрунту, однак саме по собі не забезпечує його подрібнення.

Перспективним є варіант конструкції, в якій на одній осі розміщуються дискові ножі та конічні котки-ущільнювачі. Дискові ножі призначені для розділення ґрунтового пласта на менші фрагменти, а котки-ущільнювачі – для їх притискання до краю борозни. Така схема спрямована на усунення повітряних пустот після фрагментування скиби та недопущення її повернення в борозну.

Таким чином, перспективним напрямом удосконалення лісового плуга є створення комбінованого робочого вузла, що забезпечує послідовне подрібнення, утримання та ущільнення ґрунтової скиби. Подальші дослідження доцільно зосередити на визначенні раціональних конструктивних і кінематичних

параметрів дискових ножів та котків-ущільнювачів, а також оцінюванні якості сформованого мікропідвищення й енергетичних показників роботи плуга.

Список використаних джерел

1. Думич В., Кушнір З. Сучасні тенденції розвитку конструкцій машин для підготовки та обробітку грунту в лісовому господарстві. Техніка і технології АПК. 2018. Вип. 1. С. 12-15.

2. Думич В., Мазурак М. Сучасна ґрунтообробна техніка для лісового господарства. Сільськогосподарська техніка та обладнання: прогнозування, конструювання, випробування. 2018. № 23(37). С. 136-141.

3. Löf M., Dey D. C., Navarro R. M., Jacobs D. F. Mechanical site preparation for forest restoration. New Forests. 2012. Vol. 43. P. 825-848. DOI: 10.1007/s11056-012-9332-x.

4. Sikström U., Hjelm K., Holt Hanssen K., Saksa T., Wallertz K. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review. Silva Fennica. 2020. Vol. 54, No. 2. DOI: 10.14214/sf.10172.

5. Gartzia-Bengoetxea N., Martínez de Arano I., Arias-González A. Forest productivity and associated soil ecosystem services remain altered 15 years after mechanized site preparation for reforestation with Pinus radiata. Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 213. DOI: 10.1016/j.still.2021.105150.

УДК 631.51

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕСУРСОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В РОСЛИННИЦТВІ

Бурсова М. А., Олійник І. І.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасне рослинництво функціонує в умовах зростання вартості енергетичних ресурсів, дефіциту вологи, деградації ґрунтів та необхідності зниження собівартості сільськогосподарської продукції. За таких умов особливого значення набуває пошук технологічних рішень, які забезпечують необхідну якість виконання польових робіт за одночасного зменшення витрат пального, трудових ресурсів та кількості проходів машинно-тракторних агрегатів.

Одним із найбільш ресурсомістких елементів технології вирощування польових культур є механічний обробіток ґрунту. Традиційна система на основі оранки передбачає інтенсивне перевертання, кришіння та перемішування орного шару, що супроводжується значними енергетичними витратами. Тому актуальним є застосування мінімального, консервуючого та нульового обробітку, які спрямовані на зменшення механічного впливу на ґрунт та збереження його природних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження підтверджують посилення уваги до мінімального та нульового обробітку як складових ресурсоефективного землеробства. У роботі О. Налобіної, Н. Ювчик та А. Михайлова [1] розглянуто технології мінімального та нульового обробітку ґрунту як сучасний напрям розвитку агроінженерії. В. Грубань [2] характеризує ресурсоефективні технології як важливий засіб збереження агроекологічних систем. Автор розглядає no-till, strip-till, мінімальний обробіток та глибоке рихлення з позицій збереження структури ґрунту, вологи та органічної речовини, а також зниження витрат пального і оптимізації технологічних операцій. Окремим напрямом сучасних досліджень є екологічний ефект нульового обробітку [3]. В. Грубань та О. Садовий пов'язують збереження ґрунтової структури й рослинних решток за no-till із накопиченням органічного вуглецю, зменшенням мінералізаційних процесів та стабілізацією вуглецевого балансу. Ю. Кобиренко [4] розглядає no-till як екологічно безпечну, енерго- та ресурсозберігаючу технологію, орієнтовану на відновлення деградованих земель.

Таким чином, сучасні публікації зміщують акцент від простого скорочення кількості технологічних операцій до комплексної оцінки ресурсоефективності: витрат енергії, збереження вологи, стану ґрунту, кількості рослинних решток та екологічних наслідків.

Мета. Метою роботи є порівняльна оцінка традиційної, консервуючої, мінімальної та нульової систем обробітку ґрунту за основними технологічними та ресурсозберігаючими ознаками і визначення перспектив їх застосування в сучасному рослинництві України.

Результати досліджень. Традиційна система обробітку ґрунту базується на оранці з оборотом пласта. Її основною особливістю є інтенсивний механічний вплив на весь орний шар. Такий підхід дає можливість сформувати необхідний посівний шар, однак супроводжується значними витратами енергії та пального і потребує виконання низки послідовних технологічних операцій.

Альтернативою є консервуюча система, яка передбачає глибоке рихлення без обороту пласта. Після виконання основного обробітку на поверхні ґрунту може залишатися до 70% рослинних решток. За відповідного технічного забезпечення можливе суміщення декількох операцій в одному агрегаті. Це дає змогу скоротити кількість проходів техніки та відповідно зменшити витрати енергетичних ресурсів.

Подальше зменшення інтенсивності механічного впливу реалізується в системах мінімального обробітку та no-till. Мінімальний обробіток передбачає скорочення кількості та глибини механічних операцій, тоді як нульовий обробіток передбачає відмову від традиційної оранки та максимально можливе збереження рослинних решток на поверхні поля. Сучасні українські дослідження розглядають ці технології як перспективний напрям підвищення ресурсо- та енергоефективності землеробства [1].

Важливим результатом переходу до ресурсоефективних систем є збереження ґрунтової вологи. Рослинні рештки на поверхні поля виконують роль

природнього мульчуючого шару, зменшуючи непродуктивне випаровування та перегрівання ґрунту. У [2] зазначено, що за посушливих умов мульчування післяжнивними рештками може забезпечувати збереження до 25-50 мм вологи.

Водночас сучасний підхід передбачає оцінювання не лише прямої економії пального. Ресурсоефективність повинна розглядатися комплексно: через збереження структури ґрунту, органічної речовини, вологи, зменшення ерозійних процесів та оптимізацію кількості технологічних проходів. Саме такий підхід запропонований у сучасних дослідженнях ресурсоефективних технологій обробітку ґрунту.

З табл. 1 видно загальну тенденцію: зі зменшенням інтенсивності механічного впливу підвищується роль рослинних решток та природних процесів у регулюванні стану ґрунту. Одночасно скорочується кількість проходів машинно-тракторних агрегатів, що створює передумови для зниження витрат пального та часу.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика систем обробітку ґрунту

Показник	**Традиційна**	**Консервуюча**	**Мінімальна**	**Нульова (No-Till)**
Основний принцип	Оранка з оборотом пласта	Рихлення без обороту пласта	Скорочений механічний обробіток	Відмова від традиційного механічного обробітку
Інтенсивність механічного впливу	Висока	Середня	Низька	Мінімальна
Кількість технологічних операцій	Значна	Скорочена	Знижена	Мінімальна
Рослинні рештки на поверхні	Невелика кількість	Значна кількість	Значна	Максимальне збереження
Збереження ґрунтової вологи	Обмежене	Підвищене	Високе	Високе
Потенціал зниження витрат пального	Низький	Підвищений	Високий	Високий
Збереження структури ґрунту	Середнє	Підвищене	Високе	Високе

Примітка: таблиця має аналітичний характер і узагальнює характеристики, наведені у сучасних публікаціях; вона не є результатом окремого польового експерименту авторів.

Однак повний перехід до no-till не можна розглядати як універсальне рішення для всіх господарств. Ефективність технології залежить від ґрунтово-кліматичних умов, рівня технічного забезпечення, системи удобрення, контролю бур'янів, кількості та рівномірності розподілу рослинних решток. Тому сучасний підхід передбачає адаптацію системи обробітку до конкретних умов господарства. Така позиція узгоджується з сучасними дослідженнями, у яких наголошується на значенні умов застосування ресурсоефективних технологій.

Важливим напрямом є також використання комбінованих машинно-тракторних агрегатів, здатних виконувати декілька операцій за один прохід. Такий підхід дозволяє скоротити кількість проходів техніки по полю та зменшити енергетичні витрати. У розглянутих матеріалах зазначено можливість поєднання глибокого рихлення з поверхневим обробітком, а також суміщення передпосівної культивації, сівби та прикочування.

Таким чином, сучасна ресурсоефективна технологія повинна розглядатися не лише як технологія «мінімальної кількості обробітків», а як система раціонального використання технічних, енергетичних, ґрунтових та водних ресурсів.

Окремої уваги заслуговує екологічна складова. Збереження рослинних решток та зменшення інтенсивності механічного впливу сприяють підтриманню ґрунтової структури та органічної речовини. Дослідження [3] пов'язує застосування нульового обробітку зі стабілізацією вуглецевого балансу та накопиченням органічного вуглецю в ґрунті.

Висновки. Традиційна система обробітку забезпечує інтенсивну механічну підготовку ґрунту, але характеризується значною кількістю технологічних операцій та високою енергоємністю. Консервуючий обробіток дає змогу зменшити інтенсивність механічного впливу, зберегти значну частину рослинних решток і поєднувати окремі технологічні операції. Мінімальна та нульова системи мають значний потенціал ресурсозбереження завдяки скороченню кількості проходів техніки, зменшенню механічного впливу на ґрунт та збереженню мульчуючого шару. Сучасні дослідження свідчать, що переваги ресурсоефективних систем полягають не лише в економії пального, а й у збереженні ґрунтової вологи, структури та органічної речовини, зменшенні ерозійних процесів та підвищенні стійкості агроекосистем. Найбільш раціональним підходом є адаптація системи обробітку до конкретних ґрунтово-кліматичних і виробничих умов, а також використання комбінованих машин та агрегатів для скорочення кількості технологічних проходів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне порівняння витрат пального, продуктивності агрегатів, кількості проходів та агрофізичних показників ґрунту за різних систем обробітку в конкретних умовах України.

Список використаних джерел

1. Налобіна О., Ювчик Н., Михайлов А. Технології мінімального та нульового обробітку ґрунту. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної

науково-практичної конференції, м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 75-77.

2. Грубань В. А. Ресурсоефективні технології обробітку ґрунту та їх значення для збереження агроекологічних систем. Розвиток українського села – основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 7-9.

3. Грубань В. А., Садовий О. С. Екологічна ефективність нульового обробітку ґрунту та його вплив на кількість викидів CO_2 в землеробстві. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 55-57.

4. Kobyrenko Y. O. No-Till technologies – environmentally safe, energy- and resource-saving of agro-food technologies. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 228-230.

УДК 631.3

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПОННОЇ УСТАНОВКИ ПЕРІОДИЧНОГО ЗАТОПЛЕННЯ

Васильковська К. В.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Забезпечення людства збалансованим харчуванням із необхідною добовою нормою калорій є основою продовольчої безпеки як в Україні, так і у Світі. Оскільки повномасштабна війна суттєво поглибила глобальну продовольчу кризу [1], традиційний аграрний сектор зіткнувся із безпрецедентними викликами. Це змушує переосмислити підходи до вирощування продукції харчування та звернути увагу а інноваційні закриті агросистеми, зокрема на вертикальне землеробство, як інструмент локального та незалежного виробництва.

Певним чином, вертикальне землеробство є проривом у сільськогосподарському виробництві, усуваючи такі проблеми як: дефіцит ґрунту, недостатність вологи, спричинену змінами кліматичних умов. І саме гідропоніка, де вирощування рослин відбувається у поживному розчині воді, замість ґрунту – є тією технологічною системою, яка вирішує проблему недостатності ґрунту, насичення ринку овочевою продукцією круглий рік та в цілому продовольчої безпеки країни [2, 3].

Розвиток та класифікація сучасних гідропонних систем визначаються архітектонікою вирощуваних культур, доступним просторовим ресурсом, рівнем автоматизації устаткування, специфікою світлотехнічних рішень та техніко-економічними показниками технології [2, 4].

Таким чином, конструкції гідропонних систем періодичного затоплення залишаються одними з найнадійніших завдяки пасивній фазі аерації. Сучасним напрямом вдосконалення таких установок є використання новітніх систем освітлення та перехід від статичних циклів до динамічного керування затопленням субстрату.

Метою роботи є вибір оптимальних параметрів портативної гідропонної установки періодичного затоплення та технології вирощування рослин в ній, що забезпечить збільшення продуктивності рослин за рахунок використання фітоматриць із різним співвідношенням елементів освітлення червоного до елементів синього кольору, різній щільності фотосинтетичного фотонного потоку та використання поживного розчину на основі біопрепаратів.

Гідропонна установка періодичного затоплення складається із вертикального резервуару 1 до якого кріпляться за допомогою стойки елементи освітлення 10 (фітоматриці) (рис. 1).

У вертикальному зовнішньому резервуарі 1 із поживним розчином 8 в ньому, всередині розташовано систему подачі 3 поживного розчину, який подається із нижньої частини вертикального зовнішнього резервуару за допомогою системи подачі 3 поживного розчину 8 і автоматичної насосної системи із водяною помпою 4 до внутрішнього контейнера для субстрату 2 із дренажними отворами 5 для стікання розчину. У верхній частині внутрішнього контейнера із субстратом 2 розташовано гідропонний кошик 6 із рослиною. Також, у вертикальному зовнішньому резервуарі знаходиться датчик мінімального рівня наповнення резервуару 7. Конструкція гідропонної установки кріпиться до роликової системи 9 для можливості переміщувати установку за потреби.

Технологічний процес відбувається наступним чином. Поживний розчин із вертикального зовнішнього резервуара 1 за допомогою автоматичної насосної системи і водяної помпи 4 подається за допомогою системи подачі 3 поживного розчину 8 до внутрішнього контейнеру 2 із штучним субстратом, в якому знаходиться гідропонний кошик 6 із датчиком вологості 11, який вмикає подачу поживним розчином внутрішнього контейнера автоматично, після наповнення внутрішнього контейнера (15-20 хв.), система подачі води вимикається. Поживний розчин 8 через дренажні отвори 5, розташовані в нижній частині внутрішнього контейнера, повністю повертається до зовнішнього контейнера 1.

Датчик мінімального рівня 7 поживного розчину контролює наявність достатньої кількості розчину у зовнішньому резервуарі та попереджає про необхідність його поповнення. Цикл заповнення та спорожнення внутрішнього контейнеру повторюється кілька разів на добу (контролюється датчиком вологості 11 в залежності від типу рослин та використовуваного субстрату).

Таким чином, використання в даній гідропонній установці періодичного затоплення системи автоматичної подачі поживного розчину спрощує та вдосконалює систему подачі поживного розчину, використання фітоматриць із випромінювальними елементами сприятиме прискоренню фотосинтезу та

розвитку структурних елементів рослин, підвищенню їх врожайності, а використання роликової системи надає можливість переміщувати її за потреби.

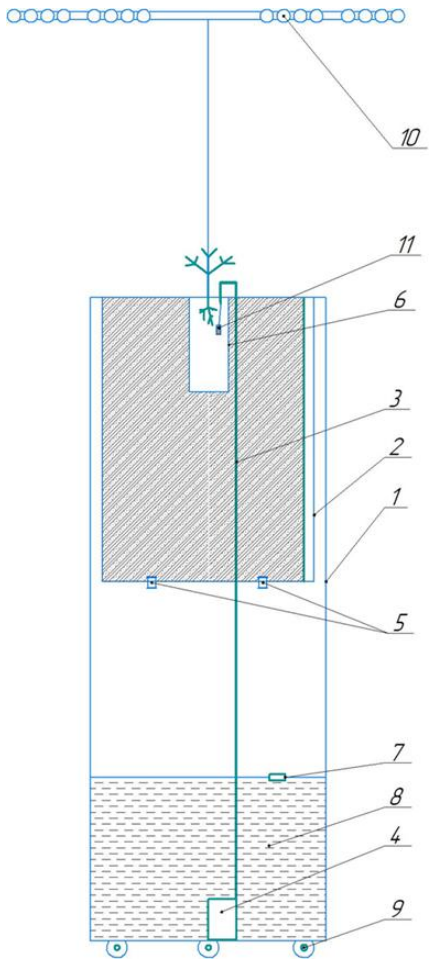


Рис. 1. Гідропонна установки періодичного затоплення: 1 - вертикальний зовнішній резервуар; 2 - внутрішній контейнер; 3 - система подачі;
4 - автоматична насосна системи із водяною помпою; 5 – дренажні отвори;
6 – гідропонні кошики; 7 – датчик мінімального рівня поживного розчину;
8 – поживний розчін; 9 – роликова система; 10 – елементи освітлення (фітоматриці); 11 – датчик вологості

Чергування у фітоматрицях червоних і синіх фотоелементів дає змогу використовувати червоне світло з довжиною хвилі від 650 до 700 Нм, яке відіграє вирішальну роль у фотосинтезі, оскільки стимулює процеси росту, цвітіння та формування плодів, а синє світло з довжиною хвилі від 400 до 500 Нм, яке є важливим на ранніх етапах розвитку рослин для формування міцної кореневої системи, зміцнення стебла та розвитку листкового апарату. Висока частка випромінювання в червоному діапазоні спектру сприяє фотосинтезу та забезпечує збільшення продуктивності рослин, тоді як синя складова забезпечує нормальний морфогенез і формування вегетативних органів (листків). Таке спектральне поєднання є доволі ефективним для вирощування різних культур: від листової зелені до овочів.

Запропоновані технологічні рішення в модернізованій портативній гідропонній установці періодичного затоплення надають можливість при вирощуванні рослини базиліку оптимізувати стартові умов вегетації та збільшити енергію проростання насіння, набору зеленої маси рослин, скорочення тривалості дозрівання рослин та інтенсифікації наростання листкової маси. Підбір кращого освітлення сприяє більш стабільному фотосинтезу із прийнятими показниками мікроклімату всередині установки.

Список використаних джерел

1. Vasylkovska K., Vasylkovskyi O., Popova S., Malakhovska V. The directions for optimizing Ukraine's export potential of grain crops in the context of changing climatic conditions. Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series V: Economic Sciences, 2021. Vol. 14(63), No. 1. P. 129–136. (DOI: https://doi.org/10.31926/but.es.2021.14.63.1.14)
2. Vasylkovska K., Kovalov M., Vasylkovskyi O., Michailova D. Determining optimal cultivation parameters for a portable hydroponic system using the nutrient film technique. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 2025. Vol. 22(3), pp. 185–197. (DOI: https://doi.org/10.36922/ajwep025170132)
3. Resh H.M. Hydroponic Food Production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. – CRC: Press, 2022. P. 642 (DOI: https://doi.org/10.1201/9781003133254)
4. Литвиненко Р., Міхєєнко В. Перспективи використання гідропоніки в Україні для вирощування салатів та овочів. Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство». – 2021. С. 58-63. (DOI: https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232888)

УДК 631.331.922

МОДИФІКАЦІЯ ІНЕРЦІЙНО-ФРИКЦІЙНОГО ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ

Вечера О. М., Теслюк Б. В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні дослідження показують, що для екологічного агровиробництва необхідно впроваджувати заходи із раціонального використання засобів хімізації та покращувати способи контролювання якості рослинної продукції. Крім того, методи хімічного знезараження не завжди забезпечують необхідну ефективність дезінфекції зерна. У деяких типів мікроорганізмів, які присутні у насінні, спостерігають збільшення стійкості до дії отрутохімікатів, що використовуються в процесі його знезараження.

Таким чином, для досягнення необхідної ефективності знезараження необхідно застосовувати або підвищені дози протруйників, або використовувати нові більш ефективні та дорогі хімічні препарати, які мають вищу токсичність. Крім того, існує межа використання отрутохімікатів, після якої їх подальше використання стає небезпечним. При цьому недосконаліть технологій і технічних засобів хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб, а також недотримання інших агротехнічних і технологічних вимог призводять до надлишкового вмісту пестицидів у ґрунті, забруднення водоймищ і ґрунтових вод, пригнічення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів та знищенню корисної мікрофлори.

Одним з шляхів поліпшення даної ситуації є покращення передпосівної обробки насіння зернових за допомогою електрофізичних методів знезараження, таких, як: знезараження зерна прискореними електронами, струмами високої та надвисокої частоти, ультразвуковим та ультрафіолетовим опроміненнями, озонуванням тощо. Всі ці методи характеризуються високою ефективністю знезараження, але мають особливості.

Як показав аналіз конструктивно-технологічних параметрів існуючих протруювачів, вони можуть бути вдосконалені, особливо в напрямку забезпечення можливостей безпосереднього використання їх у невеликих фермерських господарствах, які до сьогодні змушені користуватися шнековими протруювачами типу ПНШ-3, що є модифікацією знятого з виробництва ще у 70-х роках ХХ століття протруювача ПСШ-3 [1].

Сучасний світовий ринок машин для протруювання - це переважно камерні, шнекові і ротаційні машини, виготовлені у модифікаціях періодичної чи неперервної дії. Раніше розроблений інерційно-фрикційний протруювач неперервної дії на сьогодні є одним з найбільш досконалих – він не травмує насіння, самоочищається від залишків препаратів, забезпечує високу продуктивність і якість обробки насіння.

Протруювач інерційно-фрикційної дії здійснює неперервну обробку насіння за такою схемою: насіння з бункера протруювача надходить самопливом через дозуючу горловину по встановленому під нею розподільнику на дно обертового конічного робочого органа, куди під конус подається робоча рідина, яка під дією відцентрових сил розтягується в плівку на дні і зустрічається з насінням, яке обертаючись навколо своєї осі, рухається по спіралі і відбирає своєю поверхнею препарат. Оброблене таким чином насіння самопливом вивантажується через випускну горловину.

В результаті досліджень була розроблена вдосконалена конструкція протруювача інерційно-фрикційного типу (рис.1), яка має збільшену камеру протруювання з встановленим всередині циліндричним потужним ультразвуковим джерелом опромінення.

Обробка ультразвуком (сонікація) є сучасним фізичним методом передпосівної підготовки, який діє на насіння зернових культур як потужний біостимулятор. В основі цього процесу лежить явище ультразвукової кавітації – утворення і мікровибухи бульбашок у водному середовищі, які створюють локальні зони високого тиску. Кавітація сприяє збільшенню площі поверхні реагентів, що призводить до підвищення швидкості реакції та покращенню взаємодії протруйника і насіння. Одночасно відбувається стимуляція насіння. Зверху додатково встановлений генератор озону з повітряним нагнітачем, який засмоктує повітря з вивантажувальної горловини, збагачує його озоном та подає в камеру протруювання, який вмикається по потребі.

Внаслідок комплексного впливу на насіння – знезараження озоном та дії сонікації швидше утворюється плівка робочого препарату на поверхні, вона більш стійка до стирання та утримує більшу кількість пестицидів на насінині, таким чином підвищується загальна ефективність обробки і підвищується

врожайність культури завдяки додаткової біостимуляції [2]. Мікроскопічні кавітаційні гідроудари роблять щільну оболонку зерна більш проникною (виникає мікро перфорація), не пошкоджуючи при цьому сам зародок. Ультразвук стимулює внутрішні ферментативні процеси, знижує патогенну мікрофлору: Ультразвукові хвилі здатні частково знезаражувати поверхню насіння, пригнічуючи розвиток грибків та бактерій [3]. Схожість збільшується, а перші паростки з'являються значно швидше та рівномірніше. Оброблене насіння показує високу силу росту навіть за несприятливих умов (дефіцит вологи, низька якість ґрунту). Дослідження показують, що стимульовані ультразвуком рослини дають зерно з вищим вмістом білка та кращою якістю клейковини [4].

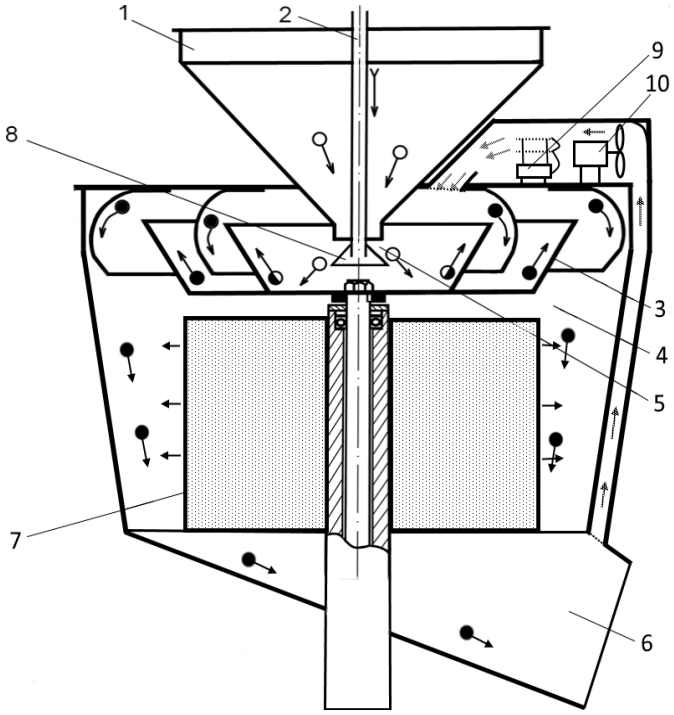


Рис.1. Робочий процес модифікованого протруювача:
1- бункер; 2- трубка подачі робочої рідини; 3- чашоподібний змішувач; 4- камера протруювання; 5- дозатор насіння; 6- вивантажувальна горловина; 7- ультразвуковий випромінювач; 8- конічний розподільник; 9- генератор озону; 10- повітряний нагнітач.

Крім того, в залежності від стану та виду насіння, стає можливо виконати екологічне знезараження без застосування пестицидів, використовуючи тільки дію ультразвуку та озону.

Список використаних джерел

1. Тримбач С. П., Вечера О. М. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2011. Вип. 41. С. 406-413.

2. M. Risca, L. Fartais, P. Stiuca. Ultrasound effects contributions on the Norway spruce seeds germination (Picea abies (L.) Karsten). Gen. Biol. Molec., Tom VIII, pp. 87-88, 2007.

3. Хмелёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И.И. Ползунова. – Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. 160 с. https://www.hielscher.com/uk/faster-sprouting-with-ultrasonics.htm

УДК 630.36(477.41)

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЛІСОГОСПОДАРСЬКИХ ЗНАРЯДЬ ІЗ ДИСКОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Виговський А. Ю., Білоус М. М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Механічна дія лісогосподарських знарядь із дисковими робочими органами спрямована на зміну фізико-механічних властивостей ґрунту одночасно із знищенням бур’янної рослинності та другорядних порід на лісокультурних ділянках. При цьому вони забезпечують високу якість обробітку ґрунту та високу прохідність агрегату.

Лісові дискові ґрунтообробні знаряддя широко застосовуються для лісовідновлення на нерозкорчованих вирубках. Під час їх роботи виникають перешкоди у вигляді пнів, коренів, порубочних залишків, також якісній роботі дискових знарядь заважає висока задернілість і неоднорідність ґрунту. У цих умовах дискові робочі органи для лісогосподарських знарядь є найкращими порівняно з робочими органами інших типів. Сферичні диски відрізняються підвищеною надійністю в роботі, тому що перекочуються через перешкоди зверху або обходять їх збоку за рахунок встановлених на них важільних пружинних амортизаторів вертикальної або горизонтальної дії [1].

Дискові робочі органи у процесі роботи виконують складні рухи: вони разом зі знаряддям переміщуються поступально й одночасно обертаються за рахунок дії реактивних моментів довкола осі. Обертальний рух змінює траєкторію переміщення ґрунтової маси по робочій поверхні диска та за її межами, а також впливає на характер різання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів.

Характер деформації та переміщень ґрунту під дією сферичних дисків залежить від розміру та кривизни дисків, кута їх установки в горизонтальній та вертикальній площинах та розмірів пласта, що вирізається кожним диском, а також залежить від швидкості поступального руху знаряддя та властивостей ґрунту. Вибір значень перерахованих величин не може бути довільним, окремі

конструктивні елементи пов'язані між собою функціональними залежностями [2].

Одним із основних геометричних параметрів диска є його діаметр. Діаметр залежно від умов роботи потрібно вибирати найменшим із допустимих значень, оскільки зі збільшенням діаметра диска різко зростає навантаження, необхідне для заглиблення диска у ґрунт.

Радіус кривизни робочої поверхні диска є також одним із найважливіших параметрів, що визначає якість обробітку ґрунту. Чим менше радіус кривизни, тим диск інтенсивніше впливає на ґрунтовий шар, краще його обертає та сильніше руйнує [3].

Конструктивні параметри та геометрія сферичних дисків є вирішальним фактором забезпечення їх працездатності. Під час проєктування дискових знарядь, рекомендований кут нахилу дисків до напрямку руху приймають рівним 35...45° (рис. 1).

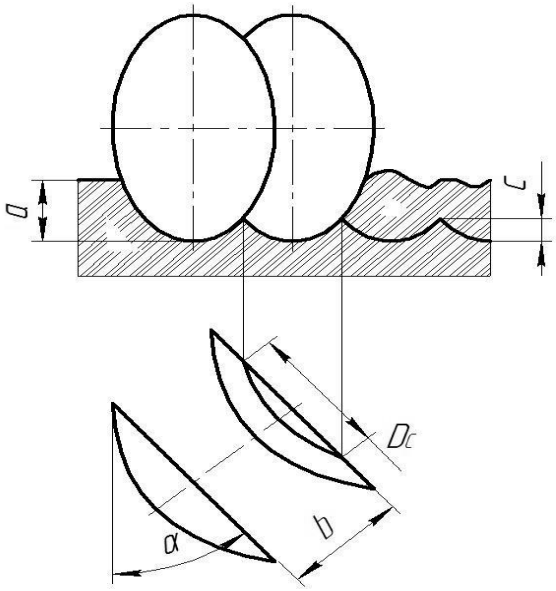


Рис. 1. Профіль дна борозни під час обробітку ґрунту знаряддям із дисковими робочими органами,

де a – глибина обробітку ґрунту; D – діаметр диску; h – відстань між дисками; α – кут нахилу диска; C – висота гребенів.

Енергоспоживання та якісні показники роботи лісогосподарських знарядь зі сферичними дисками визначаються конструктивними особливостями їх робочих органів. На переміщення та перемішування шару ґрунту впливають кути установки, діаметр і радіус кривизни дисків, а також швидкість його обертання.

Список використаних джерел

1. Бегеба В.М. До питання зниження енергомісткості процесу обробітку ґрунту на нерозкорчованих зрубах. Наук. вісн. НАУ. Київ, 1999. Вип. 17. С.191–196.

2. Ґрунтообробні агрегати на основі дискових робочих органів: монографія / Теслюк Г.В. та ін. Дніпропетровськ, 2016. 144 с.

3. Дудак С.М. Дискові ґрунтообробні знаряддя, основні параметри та особливості. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2007. Вип. 91. С. 368–371.

УДК 631.35

ІННОВАЦІЙНІ СКЛАДОВІ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Вільховий О. В, Іваницький В. О., Бурлака О. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Проблематика модернізації сільсько-господарського виробництва у галузі рослинництва, зокрема шляхом упровадження енергоощадних технологій, набуває дедалі більшої актуальності. Це зумовлено сукупною дією низки економічних, ресурсних, природно-кліматичних та технологічних чинників. До основних із них належать обмеженість фінансових і трудових ресурсів аграрних підприємств; трансформація кліматичних умов у регіонах вирощування та збирання основних сільськогосподарських культур; необхідність практичної реалізації стратегій сталого розвитку аграрного виробництва, орієнтованих на збереження та відновлення родючості ґрунтів, а також скорочення викидів парникових газів; зростання диспаритету між цінами на сільськогосподарську продукцію та вартістю сучасних технічних засобів виробництва; підвищення рівня виробничих і аграрних ризиків.

Аналіз останніх досліджень. З огляду на зазначені тенденції, напрями модернізації технологічних процесів у рослинництві є достатньо різноманітними та передбачають удосконалення як окремих технологічних операцій, так і виробничих систем у цілому. Водночас їх реалізація безпосередньо пов’язана з формуванням раціонально структурованих комплексів машин і обладнання, технічні та експлуатаційні параметри яких мають відповідати прийнятій технології виробництва, природно-кліматичним умовам конкретного регіону та ресурсним можливостям аграрного підприємства [1, 2, 5].

Важливим напрямом сучасної модернізації є адаптація технологій сільськогосподарського виробництва до стратегічних орієнтирів європейської інтеграції, принципів ресурсоефективності та екологічної збалансованості.

У цих умовах аграрний бізнес орієнтується на підвищення ефективності використання машинно-технологічних комплексів, оптимізацію їх складу та режимів експлуатації, а також мінімізацію непродуктивних витрат ресурсів.

Особливого значення набуває забезпечення збереження родючості ґрунту та максимально можливого зниження питомих енергетичних витрат на виконання технологічних операцій, насамперед під час вирощування та збирання сільськогосподарських культур, за одночасного збереження необхідного рівня продуктивності, якості виконання робіт і технологічної надійності [3, 6].

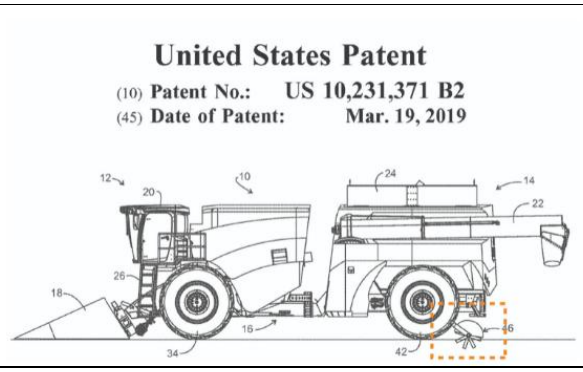
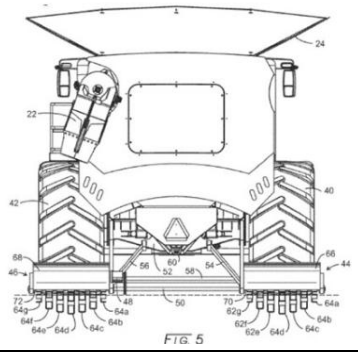
Мета досліджень – пошук альтернативних варіантів відносно операційних технологій збирання зернових культур за домінуючим фактором, спрямованим на збереження структури та родючості ґрунту.

Результати досліджень. Заключним етапом щодо вирощування та збирання зернових культур є обмолот зерна чи насіння за допомогою зернозбиральних комбайнів. Треба відмітити, що продуктивність сучасних зернозбиральних комбайнів за останні десятиріччя зросла до 100 тон за годину по зерну і вище. Разом з тим зросла і конструкційна маса такої сільськогосподарської техніки – до 20 000кг і більше. Останнє є негативним явищем щодо переущільнення підорного шару ґрунту рушіями зернозбиральних комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки. Світова практика свідчить, що для забезпечення високопродуктивної роботи збирального комплексу сільськогосподарської техніки додатково використовуються трактори з причепами-перевантажувачами, а це ще додаткове переущільнення орного та підорного шару ґрунту [4].

Але є й альтернативні варіанти. Прикладом таких інновацій є застосування зернозбирального комбайна Tribine T-1000 (Табл.1) в нульових технологіях – американський досвід.

Таблиця 1 – Основні технічні та технологічні характеристики зернозбирального комбайна Tribine T-1000

Tribine T-1000 (URL: https://tribine.com/#top)	
	
Кількість дизельних двигунів - 2 Сумарна потужність двигунів – 650 hp/485 kW Місткість паливного баку – 1893 л Час роботи комбайна без дозаправки – 18 годин Діаметр ротора – 970 мм Ширина похилої камери – 1680 мм Кут обхвату ротора - 2700 Площа обмолоту – 2,30 м2 Площа сепарації – 2,30 м2 Площа очистки – 8,58 м2 Місткість зернового бункера – 35,239 м3 Продуктивність вивантажувального шнека бункера – 300 л/с Конструктивна маса – 24,494 кг	

Пріоритетний спосіб розвантаження бункера – вантажний автомобіль на дорозі чи краю поля	
	
Інновації, направлені на органічне землеробство та збереження гумусу – фреза за рушіями для розпушування колії	
	

Концепція створення такої машини - модульне поєднанням самохідного молотильно-сепарувального пристрою, бункеру підвищеного об'єму (35,239 м3) та колійної фрези зі змінною глибиною обробітку ущільненої стерні по ширині сліду рушія комбайна.

Саме модульна конструкція, бункер підвищеної ємності та колійна фреза змінної глибини, щодо обробітку ґрунту, у сукупності виконують вимоги збирання врожаю і підготовки поля під подальшу сівбу по нульовій чи стрічковій технології.

При цьому важливо, що виключається необхідність використання трактора з причепом – перевантажувачем. Останнє дає змогу не тільки заощаджувати фінансові, енергетичні та людських ресурси, але й впроваджувати стратегію збереження родючості ґрунту.

Ще одним інноваційним проєктом щодо ощадного ставлення до ґрунту є використання комплек5су сільськогосподарських машин на базі системного трактора Nexat (табл.2).

Основна парадигма такого комплексу машин – використання з року в рік колійних технологій та системи точного землеробства. Площі поля умовно поділені на транспортні колії (до 5%) та зони вирощування сільськогосподарських культур, де відсутня дія рушіїв сільськогосподарської техніки на грунт.

Таблиця 2 – Основні технічні та технологічні характеристики системного трактора Nexat



Джерело:https://traktorist.ua/articles/nexat-pislya-viyni-planuiemo-zapustiti-skladannya-sistemnih-traktoriv-v-ukrayini

1. Силова установка – два дизельні двигуни 400 кВт / 545 к. с. кожен.
2. Місткість модуля зерновий бункер – 36м3.
3. Кут оберту кабіни – 2700.
4. Швидкість розвантаження зернового бункера - 600 л/с.
5. Кут повороту гусеничних блоків / тандему коліс – 900.
6. Пропонована жатка для зернових культур шириною15,5-м. Geringhoff.
7. Комплектується обприскувачем Dammann з об'ємом бака 24 м куб. і штангою 70 м.

Висновки. Відповідно, мотиватором розвитку енергоощадних стрічкових чи нульових технологій в сучасному сільськогосподарському виробництві є не тільки посівні комплекси, машини з захисту рослин, а і перспективи виробничого упровадження модульних високопродуктивний зернозбиральних комбайнів з залученням вітчизняних виробників складових сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

1. Sairoel Amertet, Girma Gebresenbet, Hassan M. Alwan, Application of hyper-automation in farming – an analysis, Smart Agricultural Technology, Volume 9, 2024, 100516, ISSN 2772-3755, https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100516.

(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524001217)

2. Vijay Mahore, Peeyush Soni, Prakhar Patidar, Harsh Nagar, Arjun Chouriya, Rajendra Machavaram, Development and implementation of a raspberry Pi-based IoT system for real-time performance monitoring of an instrumented tractor, Smart Agricultural Technology, Volume 9, 2024, 100530, ISSN 2772-3755, https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100530.

(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524001357)

3. Chmelíková, L., Schmid, H., Anke, S. et al. Energy-use efficiency of organic and conventional plant production systems in Germany. Sci Rep 14, 1806 (2024). https://doi.org/10.1038/s41598-024-51768-3

4. Burlaka, O. A., Yakhin, S. V., Padalka, V. V., & Burlaka, A. O. (2021). 100 tons per hour, what is next? Let us compares and analyzes characteristics of the latest models of highly productive combine harvesters. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (3), 274–288. doi: 10.31210/visnyk2021.03.34

5. Литвинюк Л. Деякі особливості підвищення продуктивності зернозбирального комбайна і покращення родючості ґрунту. Техніка і технології АПК. 2015. № 10. С. 25–27.

6. Погорілий Л., Івасюк В., Соломаха О. До практичної реалізації моніторингу ґрунтів у системі точного землеробства. Техніка АПК. 2002. №10-11 (жовтень-листопад). – С. 8-9.

УДК 631.362.3:004.942

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗСІТКОВОЇ DEM-МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ОКРЕМОЇ ЗЕРНІВКИ ТА ПОТОКУ ЗЕРНА В ВІБРОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ

Волик Д. А., Попадюк І. С.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Дослідження руху зернового матеріалу у вібровідцентрових сепараторах потребує врахування значної кількості факторів, що визначають траєкторію руху окремих зернівок та їх взаємодію між собою і з робочими поверхнями [1]. Застосування класичних математичних підходів супроводжується низкою спрощень. Зокрема, відповідно до законів механіки зернівка може розглядатися як матеріальна точка, що не дає змоги врахувати її геометричну форму та міжчастинкову взаємодію. Під час опису зернового матеріалу як суцільного середовища на основі рівнянь Нав'є-Стокса його рух характеризується узагальненими параметрами потоку, такими як густина та динамічна в'язкість, що також обмежує можливості дослідження руху окремих частинок. Застосовуються й спрощені підходи, за яких шар зернового матеріалу розглядається як умовне тверде тіло. Одним із методів, що дає змогу зменшити зазначені обмеження, є дискретно-елементний метод (DEM), який забезпечує моделювання руху окремих частинок із урахуванням їх маси, геометричних параметрів, інерційних характеристик, міжчастинкової взаємодії та взаємодії з робочими поверхнями. Поєднання DEM із методами обчислювальної гідродинаміки додатково дає можливість враховувати взаємний вплив зернового матеріалу та повітряного потоку.

Аналіз останніх досліджень. Дискретно-елементне моделювання широко застосовується для дослідження руху сипких матеріалів, оскільки дозволяє описувати поведінку окремих частинок та їх сукупності [1]. Для зернових матеріалів особливого значення набуває можливість врахування контактної

взаємодії між зернівками та робочими поверхнями, а також визначення індивідуальних кінематичних параметрів частинок. Водночас використання DEM для дослідження процесів у вібровідцентрових сепараторах потребує формування відповідної методики побудови моделі, задання руху робочої зони та формування зернового потоку. Тому актуальним є розроблення спрощеної безсіткової DEM-моделі, яка може бути використана як основа для проведення подальших числових експериментів.

Мета. Метою роботи є розроблення методики безсіткового DEM-моделювання руху окремої зернівки та потоку зерна у вібровідцентровому сепараторі для подальшого використання під час проведення числових експериментів.

Результати. Для розроблення методики сформовано безсіткову DEM-модель робочої зони вібровідцентрового сепаратора у вигляді циліндричної геометрії. Модель дозволяє враховувати геометричні параметри частинок, дію сили тяжіння, інерційні та відцентрові сили, а також міжчастинкову взаємодію і взаємодію частинок із робочою поверхнею на основі контактної моделі Герца-Міндліна. Рух робочої геометрії задано за допомогою методу Prescribed Motion, що дає можливість задавати кінематичні параметри її переміщення та змінювати режими руху під час моделювання.

У моделі використано граничні умови типу «стіна», «інжектор» та «вихід». Формування зернового потоку здійснюється за допомогою першого інжектора. Другий інжектор використано для введення контрольної частинки, положення якої задається всередині основного потоку. Це дозволяє окремо відстежувати рух вибраної зернівки та визначати її траєкторію, швидкість і пройдений шлях у процесі руху.

На першому етапі зернівки у DEM-моделі представлені сферичними частинками, що дає змогу спростити побудову моделі та зменшити обчислювальні витрати. Надалі для більш точного відтворення геометричної форми зернівок передбачається використання методу clump, який дозволяє формувати складені дискретні частинки відповідно до заданої геометрії. Сформована модель є спрощеним макетним зразком робочої зони сепаратора та не відтворює його реальні геометричні розміри. Таке спрощення використано для відпрацювання методики моделювання та зменшення обчислювальних витрат.

У результаті моделювання отримано просторову траєкторію руху контрольної частинки під дією відцентрових сил та сил взаємодії з іншими частинками (Рис.1).

Отримана модель забезпечує можливість зміни геометрії робочої зони, кінематичних режимів руху та параметрів вібрації, зокрема її частоти й амплітуди. Таким чином, сформовано основу для подальшого проведення числових експериментів. На наступному етапі передбачається використання декількох інжекторів для формування зернової суміші з різними властивостями, а також введення отворів у робочу поверхню для дослідження процесу просіювання залежно від розмірів частинок.

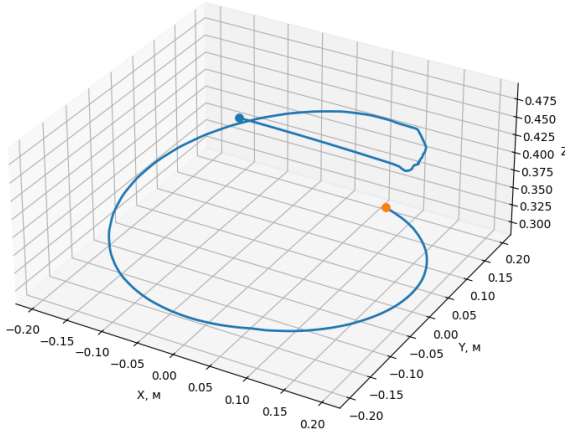


Рис. 1. Просторова траєкторія руху частки зернового матеріалу від дією відцентрової сили в умовах її взаємодії з зерновим потоком

Висновки. Розроблено методику побудови безсіткової DEM-моделі для дослідження руху окремої зернівки та зернового потоку у вібровідцентровому сепараторі. Створена модель дозволяє відстежувати індивідуальні кінематичні параметри частинок та змінювати геометричні й режимні параметри робочої зони. Розроблена методика може бути використана як основа для подальшого числового дослідження процесів розділення зернового матеріалу за густиною та просіювання за розмірами.

Список використаних джерел

1. DEM simulation of laboratory Knelson concentrator to study the effects of feed properties and operating parameters. *Advanced Powder Technology*. 2017. Vol. 28, Iss. 6. P. 1443–1458. https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.03.011.

2. Stepanenko S. Mathematical modeling of grain movement dynamics in the processes of air-centrifugal separation of grain material / S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, M. Aneliak, D. Volyk, V. Melnyk, R. Kalinichenko. Journal of Central European Agriculture. 2025. Vol. 26, No. 2. P. 383–393. DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.2.4301.

3. Slipchenko M. Dynamics of the grain mixture on the plate spreader of a vibrating centrifugal separator / M. Slipchenko, M. Stadnik, O. Solona, O. Tokarchuk. Vibrations in Engineering and Technology. 2025. No. 1 (116). P. 5–10. DOI: https://doi.org/10.37128/2306-8744-2025-1-1.

УДК 631.372:629.114.2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ FENDT VARIO ТА JOHN DEERE AUTOPOWR

Волянський М. С., Лавріненко О.Т., Гуменюк Ю.О., Гаркуша Н.М
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Сучасні трактори потребують високоефективних трансмісій, які забезпечують оптимальне використання потужності двигуна, зниження втрат енергії та підвищення продуктивності. Гідромеханічні безступінчасті трансмісії (CVT) типу Fendt Vario та John Deere AutoPowr є прикладом інноваційних рішень, що поєднують механічну та гідрооб'ємну передачу потужності. Проблема полягає у визначенні їхньої ефективності та впливу конструктивних особливостей на енергетичний баланс.

Аналіз останніх досліджень. У працях Macor та Rossetti [1; 2] розглянуто оптимізацію гідромеханічних трансмісій. Farkas та Kerényi [3] досліджували розподіл потоків потужності та ККД IVT (Infinitely Variable Transmission) безступінчастих трансмісій з нескінченною кількістю передаточних відношень. Wang та ін. [4] аналізували якість перемикання CVT у тракторах. Zhao та ін. [5] та Song та ін. [6] показали вплив конструктивних параметрів на енергоефективність. Marani та ін. [7] запропонували нові рішення для power-split CVT, а дослідження в журналах Energy [8] та Computers and Electronics in Agriculture [9; 10] підтвердили актуальність оптимізації керування та зниження втрат.

Мета досліджень. Метою є порівняльний аналіз ефективності трансмісій Fendt Vario та John Deere AutoPowr, визначення впливу розподілу потужності між механічною та гідрооб'ємною гілками на загальний ККД та формування висновків щодо їх застосування у сучасному аграрному виробництві.

Результати досліджень. Теоретичний аналіз показав, що сумарний ККД трансмісії залежить від частки гідрооб'ємної потужності γ та ефективності гідравлічного контуру [5; 6].

1. Кінематичні дослідження планетарних механізмів підтвердили, що конструктивні параметри (передаточні відношення, розподіл моментів) суттєво впливають на енергетичний баланс [7; 8].

2. Експериментальні дані свідчать, що середній ККД у діапазоні швидкостей 4–12 км/год становить 0,875 для Fendt Vario та 0,947 для John Deere AutoPowr [6].

3. Практичні висновки: трансмісія AutoPowr демонструє вищу ефективність завдяки оптимізованому розподілу потужності, проте вимагає складніших алгоритмів керування [9; 10].

Висновки. Гідромеханічні трансмісії Fendt Vario та John Deere AutoPowr мають різні конструктивні рішення, що визначають їхню ефективність.

AutoPowr демонструє вищий інтегральний ККД у робочому діапазоні швидкостей.

Fendt Vario забезпечує стабільність та надійність, проте має нижчий ККД у порівнянні.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів керування та зниження втрат у гідравлічному контурі.

Список використаних джерел

1. Macor, A., Rossetti, A. Optimization of hydro-mechanical power split transmissions. *Mechanism and Machine Theory*. 2011, 46(12), 1901–1919. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2011.07.007

2. Rossetti, A., Macor, A. Multi-objective optimization of hydro-mechanical power split transmissions. *Mechanism and Machine Theory*. 2013, 62, 112–128. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2012.11.009

3. Farkas, Z., Kerényi, G. Power flows and efficiency analysis of out- and input coupled IVT. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2009, 53(2), 61–68. DOI: 10.3311/pp.me.2009-2.02

4. Wang, G., Song, Y., Wang, J., et al. Shift quality of tractors fitted with hydrostatic power split CVT during starting. *Biosystems Engineering*. 2020, 196, 183–201. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.06.001

5. Zhao, Y., et al. Energy consumption analysis of 2Z-X(B) planetary input-coupled hydro-mechanical tractor transmission. *Applied Sciences*. 2025, 15(23), 12576. DOI: 10.3390/app152312576

6. Song, Y., Jin, Y., Kong, Y., Zhao, Y., Yin, T., Wang, G. Analysis of traction performance for 180 HP continuously variable transmission tractor. *Applied Sciences*. 2026, 16(14), 6979. DOI: 10.3390/app16146979

7. Marani, P., Chiarabelli, D., Gessi, S., Martelli, M. Design of power-split hydrostatic CVT agricultural transmission for enhanced control and efficiency. *JFPS Int. Journal of Fluid Power System*. 2025, 18(1), 29–36. DOI: 10.5739/jfpsij.18.29

8. Bi-level iterative-driven dynamic matching design for power reflux hydro-mechanical transmission system. *Energy*. 2026, 360, 141779. DOI: 10.1016/j.energy.2026.141779

9. Coordinated dual-rolling control of shifting in HMCVT based on KF-MPC algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024, 227, 109561. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109561

10. Energy-efficient path tracking control for autonomous tractors equipped with hydro-mechanical CVT. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2026, 252, 112115. DOI: 10.1016/j.compag.2026.112115

УДК 621.225

РЕАЛЬНІ ПРОЦЕСИ РОБОТИ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИМ НАСОСОМ: НОВЕ СХЕМАТИЧНЕ РІШЕННЯ

Волянський М. С., Гаркуша Н. М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. У сучасній сільськогосподарській, дорожньо-будівельній та комунальній техніці широкого поширення набули об’ємні гідроприводи із замкненим потоком робочої рідини. Ключовим елементом таких систем є аксіально-поршневі насоси (АПН), які забезпечують регулювання подачі та реверсування потоку. Проблема полягає у тому, що традиційне трипозиційне зображення розподільника в схемах гідромеханічної системи керування не відображає усіх реальних процесів роботи, зокрема фіксації кута нахилу похилого диска та робочого об’єму насоса. Це ускладнює коректне відтворення принципових схем і навчальний процес.

Аналіз останніх досліджень. Іноземні компанії Parker Hannifin, Bosch Rexroth, Bondioli & Pavesi, Sauer-Danfoss та вітчизняне підприємство «Гідросила АПМ» (м. Кропивницький) активно розробляють і виробляють аксіально-поршневі насоси різних серій (PVS, PVH, PVH2, PVK) [2; 3; 7; 12]. У цих насосах застосовуються різні системи керування: гідромеханічні, електричні трипозиційні та пропорційні, а також гідравлічні пропорційні [4; 6]. Вітчизняні дослідження (Аврунін та ін., 2024; Панченко, Волошина, 2021) [5; 13] акцентують увагу на вдосконаленні конструкцій гідравлічних машин та підвищенні їх енергоефективності. Стандарти ДСТУ [8–10] визначають вимоги до насосів та умовні графічні позначення, проте не деталізують усі робочі позиції розподільника.

Мета досліджень. Метою є обґрунтування необхідності уточнення зображення розподільника у схемах гідромеханічної системи керування АПН та розробка п’ятипозиційної схеми, яка відображає реальні процеси роботи механізму керування.

Результати досліджень. Виявлено недоліки трипозиційної схеми: вона відображає лише роботу насоса у неробочому положенні та зміну кута нахилу диска, але не фіксацію робочого об’єму.

1. Запропоновано п’ятипозиційний розподільник, який має дві робочі позиції, дві нейтральні робочі та одну нейтральну. Це дозволяє відобразити:
- фіксацію похилого диска у нейтральному положенні;
- відхилення диска від нейтралі;
- фіксацію диска у робочому положенні;
- реверсування АПН.

2. Практична цінність: нова схема забезпечує коректне відображення усіх операцій – від фіксації кута нахилу до реверсування, що підвищує точність принципових схем та їх навчальну й прикладну цінність.

3. Використано теоретичні методи аналізу й синтезу, системний підхід, а також емпіричні методи спостереження та порівняння.

4. Висновок досліджень: п’ятипозиційний розподільник відтворює реальні процеси роботи гідромеханічної системи керування АПН і рекомендований для використання у принципових схемах.

Висновки. Традиційне трипозиційне зображення розподільника не відображає усіх процесів роботи гідромеханічної системи керування АПН.

Запропонована п’ятипозиційна схема дозволяє коректно відтворити фіксацію кута нахилу похилого диска, робочий об’єм насоса та процес реверсування.

Використання п’ятипозиційного розподільника у принципових схемах підвищує точність технічної документації та ефективність навчального процесу.

Практична цінність полягає у можливості застосування цієї схеми у реальних гідроприводах сільськогосподарської та будівельної техніки.

Список використаних джерел

1. Axial Piston Pump Accessories Market Outlook 2025–2032. Intel Market Research. URL: https://www.intelmarketresearch.com/axial-piston-pump-accessories-market-3205 (intelmarketresearch.com in Bing)

2. Bosch Rexroth AG. Mobile Applications. Elchingen, Germany. URL: https://www.pressoil.it/share/download/013256200-1519057134bosch-rexroth-a4vg-serie-40-pump-pompa-re92004.pdf (pressoil.it in Bing)

3. Bondioli & Pavesi. Closed circuit variable-displacement axial piston pumps and motors. 2019. URL: https://bondioli-pavesi.com/download/pdf/398SCP016EN00.pdf (bondioli-pavesi.com in Bing)

4. Yuan Feng, Zhang Jian, Jiayang Li, Zhang Tao, Yuhang Wang, Jingwei Xue. Advanced Control Systems for Axial Piston Pumps Enhancing Variable Mechanisms and Robust Piston Positioning. *Applied Sciences*. 2023, 13(17), 9658. DOI: 10.3390/app13179658

5. Аврунін Г., Глушкова Д., Подрігало М., Поторока А. Аналіз новітньої конструкції аксіально-поршневих гідравлічних машин зі зменшеними втратами на тертя та витоками. *Вісник ХНАДУ*. 2024. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.50

6. Parker Hannifin. Axial piston pump C-series. URL: https://ph.parker.com/us/en/product-list/c-series-variable-displacement-axial-piston-pump-for-closed-circuit-applications (ph.parker.com in Bing)

7. Гідросила. Аксіально-поршневі насоси та гідромотори для замкнутого контуру серії PVK. HS-AC-01/06.2023. URL: https://www.hydrosila.com/files/product/axial-pumps-axial-pumps-zk-apm-pvk.catalog.pdf (hydrosila.com in Bing)

8. ДСТУ 2125:2023. Гідроприводи об’ємні. Насоси аксіально-поршневі регульовані. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023.

9. ДСТУ 3455.2-96. Гідроприводи об’ємні та пневмоприводи. Частина 2. Об’ємні гідромашини та пневмомашини. Київ: Держстандарт України, 1997.

10. ДСТУ ISO 1219-2:2018. Приводи гідравлічні і пневматичні та їхні елементи. Графічні умовні познаки та принципові схеми. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

11. Макаренко М., Мельник О. Комбайни зернозбиральні: навч. посіб. Київ: Грамота, 2023.

12. Гідросила. Насоси регульовані, замкнутий контур. URL: https://www.hydrosila.com/products/axial-pumps/axial-pumps-zk/ (hydrosila.com in Bing)

13. Панченко А. І., Волошина А. А. Планетарні та аксіально-поршневі гідроприводи машин: підручник. Мелітополь: ТДАТУ, 2021.

14. Danfoss. Series 90 piston pumps. URL: https://www.danfoss (www.danfoss in Bing)

УДК 621.867.4:631.363

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ ЗАВАНТАЖЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Григоренко Н. В.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. У роботі досліджено вплив способу завантаження на продуктивність спірально-гвинтового транспортера. Проаналізовано гравітаційний та примусовий способи завантаження, а також осьову, кутову та кругову кінематичні схеми подачі. Отримані результати дозволяють підвищити продуктивність обладнання, знизити енергоємність процесу транспортування та мінімізувати механічні пошкодження сипких матеріалів.

Гвинтові та спірально-гвинтові транспортери залишаються одними з найпоширеніших типів обладнання для переміщення сипких матеріалів у сільськогосподарському виробництві, харчовій та переробній промисловості. Попри значну кількість теоретичних та експериментальних досліджень, вплив способу завантаження та кінематики подачі матеріалу на продуктивність та енергоємність транспортерів вивчений фрагментарно, що зумовлює актуальність даної роботи.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу способу завантаження та конструктивно-кінематичної схеми на робочі показники спірально-гвинтового транспортера, а також обґрунтування раціональних

параметрів завантажувального пристрою для підвищення продуктивності та мінімізації енерговитрат.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети сформовано такі завдання:

- класифікувати існуючі способи завантаження та кінематичні схеми подачі матеріалу;
- встановити зв'язок між формою завантажувального бункера та коефіцієнтом продуктивності транспортера;
- теоретично обґрунтувати залежності для визначення критичної кутової швидкості, продуктивності та потужності приводу;
- визначити кількісний вплив кута нахилу, частоти обертання та конфігурації завантаження на ефективність роботи транспортера.

Наукова новизна. Вперше системно доведено, що конструкція завантажувального та розвантажувального вузлів є визначальним, а не другорядним фактором продуктивності системи, причому як в тихохідному так і в швидкохідному типах транспортерів. Встановлено несиметричний вплив кутової схеми розвантаження, яка при незначному зниженні продуктивності викликає непропорційно велике зростання необхідної потужності приводу (на 50 % і більше). Електромеханічну систему розглянуто як єдиний комплекс «завантажувальний пристрій – гвинт – електропривід».

Основний зміст роботи. Проведено порівняльний аналіз п'яти конфігурацій завантажувального бункера. Встановлено, що заміна бункера з прямими стінками на оптимізовану обтічну форму підвищує коефіцієнт продуктивності транспортера з 0,62 до 1,00. Використання кругової камери завантаження, де шнек частково занурений у матеріал, підвищує продуктивність на 6–23 % порівняно з осьовим завантаженням, а застосування живильників – у 1,7–3 рази.

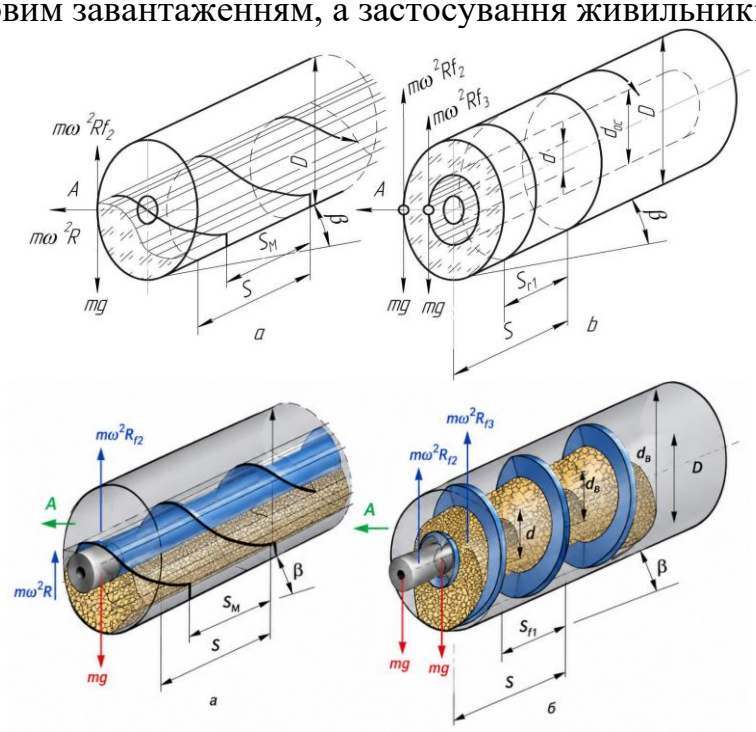


Рис. Схеми транспортерів: а - тихохідного, б – швидкохідного

Теоретичний аналіз підтвердив, що стабільна робота транспортера досягається лише за умови узгодження пропускних здатностей завантажувального, транспортуючого та розвантажувального вузлів ($Pz < Pt < Pr$). Було отримано залежність для визначення продуктивності:

$$Q = 47 \cdot kQ \cdot \psi \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho.$$

Збільшення опору переміщенню матеріалу при використанні менш ефективних (наприклад, кутових) схем змушує електропривід працювати в режимі підвищеного навантаження, що веде до зростання пускових струмів асинхронного двигуна та вимагає збільшення запасу його потужності.

Висновки. В результаті дослідження:

- встановлено, що форма бункера суттєво впливає на рівномірність подачі: обтічна форма збільшує продуктивність у понад 1,6 раза;
- доведено, що кругове завантаження підвищує продуктивність на 6–23 %, а примусове живлення – у 1,7–3 рази;
- визначено, що кутова схема розвантаження знижує продуктивність на 6–12 %, але збільшує потребу в потужності на понад 50 %;
- встановлено, що продуктивність вертикальних шнеків становить лише 30–40 % від показників горизонтальних аналогів;
- показано, що раціональний вибір схеми завантажувального вузла дозволяє зменшити встановлену потужність електродвигуна на 15–30 % без втрат загальної продуктивності системи.

Список використаних джерел

1. Гевко Б. М., Луців І. В., Гевко І. Б., Комар Р. В., Дубиняк Т. С. Запобіжні муфти: конструкції, розрахунок, дослідження: монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 200 с.

2. Марунич О. П. Обґрунтування параметрів багатофункціонального гвинтового конвеєра для транспортування і змішування сипких матеріалів: дис. ... докт. філософії. Тернопіль, 2023.

3. Возняк О. М., Штуць А. А., Булига А. І. Дослідження роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2023. № 2 (121). С. 139-148.

4. Клендій М. Б., Драган А. П. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів борони з гвинтовими робочими органами. Науковий вісник ТДАТУ. 2026. № 16(1). С. 62–69.

5. Стаднік М., Штуць А., Колісник М., Григоренко Н. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2025. Т. 347, № 1. С. 291–299. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-347-38.

6. Штуць А. А., Григоренко Н. В., Колісник М. А., Григоренко О. В. Аналіз сучасних методів транспортування сільськогосподарської продукції спірально-гвинтовими транспортерами. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. № 3 (114). С. 97–110. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-12.

УДК 631.51:631.3

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ MINI-TILL У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Гринь В. І., Дробот А. І.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується необхідністю одночасного забезпечення стабільної продуктивності агроценозів, збереження ґрунтових ресурсів та зниження матеріально-енергетичних витрат. Традиційні системи механічного обробітку ґрунту, основу яких становить полицева оранка, забезпечують ефективне виконання окремих технологічних операцій, проте супроводжуються значними витратами пального, збільшенням кількості проходів машинно-тракторних агрегатів та інтенсивним механічним впливом на ґрунтовий профіль.

Особливої актуальності набуває проблема збереження ґрунтової вологи, органічної речовини, структурного стану та протидії деградаційним процесам. За таких умов перспективним напрямом удосконалення систем землеробства є застосування ресурсозберігальних технологій мінімального обробітку, зокрема mini-till, що передбачає скорочення інтенсивності механічного впливу на ґрунт, зменшення кількості технологічних операцій та збереження частини рослинних решток на поверхні поля.

Водночас ефективність mini-till визначається не лише скороченням механічних операцій, а комплексом агротехнологічних, ґрунтово-кліматичних, технічних та організаційних чинників. Тому обґрунтування особливостей реалізації цієї системи та визначення її потенційних переваг і обмежень є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження сучасних систем землеробства свідчать про поступове поширення технологій мінімального та нульового обробітку ґрунту. Основним принципом таких технологій є зменшення інтенсивності механічного впливу на ґрунт за одночасного збереження пожнивних решток, що створює передумови для регулювання водного режиму, зменшення ерозійних процесів та підвищення вмісту органічної речовини [1-3].

Технологія mini-till за характером механічного впливу займає проміжне положення між традиційним обробітком та no-till. На відміну від полицевої оранки, вона передбачає переважне використання розпушувальних і комбінованих ґрунтообробних агрегатів без повного обороту пласта. Такий підхід дає змогу скоротити кількість технологічних проходів та зменшити енергетичні витрати на підготовку ґрунту.

Важливим об’єктом досліджень є вплив мінімального обробітку на фізичні властивості ґрунту. Збереження рослинних решток на поверхні сприяє

формуванню мульчувального шару, який може зменшувати інтенсивність випаровування вологи та температурні коливання у верхньому шарі ґрунту. Одночасно накопичення органічної маси створює умови для активізації ґрунтової біоти та поступового формування стабільнішої структури ґрунтових агрегатів [3].

Разом із тим літературні дані свідчать, що результати застосування mini-till істотно залежать від ґрунтово-кліматичних умов, культури землеробства, структури сівозміни, рівня забур'яненості, системи удобрення та технічного оснащення господарства. Скорочення механічного обробітку може ускладнювати контроль сегетальної рослинності, що підвищує значення хімічних, біологічних та агротехнічних методів регулювання чисельності бур'янів.

Окремого дослідження потребують питання технічного забезпечення mini-till. Реалізація технології потребує застосування спеціалізованих посівних комплексів, ґрунтообробних агрегатів, машин для подрібнення та розподілення пожнивних решток, а також комбінованих машин, здатних виконувати декілька операцій за один прохід. Таким чином, перехід до mini-till пов'язаний не лише зі зміною агротехнологічних прийомів, а й із відповідною адаптацією машинно-тракторного парку [4-6].

Мета. Метою досліджень є систематизація технологічних особливостей mini-till, визначення основних принципів її реалізації, оцінювання потенційного впливу мінімізації механічного обробітку на ґрунтові та виробничі процеси, а також встановлення основних переваг, обмежень і вимог до технічного забезпечення цієї системи землеробства.

Результати досліджень. Аналіз технологічної структури mini-till показав, що її принциповою відмінністю від традиційного землеробства є відмова від систематичного використання полицевої оранки як базової операції. Основний механічний вплив на ґрунт здійснюється шляхом розпушування на задану глибину із збереженням значної частини рослинних решток на поверхні.

Технологічний процес може включати вирівнювання поверхні поля, поверхневий обробіток за необхідності, регулювання чисельності бур'янів, розпушування, посів із локальним внесенням добрив та збирання врожаю з одночасним подрібненням і рівномірним розподіленням пожнивних решток. Конкретний склад операцій має визначатися з урахуванням стану ґрунту, біологічних особливостей культури, погодних умов та технічних можливостей підприємства.

Важливим елементом mini-till є управління рослинними рештками. Їх рівномірне розміщення на поверхні ґрунту забезпечує формування органічного покриву, який виконує захисну та мульчувальну функції. За рахунок цього можуть створюватися сприятливіші умови для збереження ґрунтової вологи, зменшення температурних коливань та захисту поверхні від ерозійних процесів. Поступова трансформація рослинних решток сприяє поверненню органічної речовини до ґрунту.

Застосування мінімального обробітку також створює передумови для зменшення кількості проходів машинно-тракторних агрегатів. Обмеження кількості технологічних операцій безпосередньо впливає на витрати пального, трудові ресурси та експлуатаційне навантаження на техніку. Додаткового ефекту можна досягти шляхом використання комбінованих агрегатів, які дають змогу виконувати декілька технологічних операцій за один прохід.

Порівняно з традиційною системою обробітку mini-till потенційно забезпечує зменшення інтенсивності механічного руйнування ґрунтових агрегатів. За тривалого застосування, за умови правильного вибору технологічних режимів та обмеження руху важкої техніки в несприятливих умовах вологості, можуть формуватися передумови для покращення структурного стану ґрунту, його водопроникності та біологічної активності.

Одночасно мінімізація механічного обробітку змінює систему контролю бур'янів. За відсутності інтенсивного механічного знищення сегетальної рослинності зростає роль гербіцидів, сівозміни, покривних культур та сидератів. Тому ефективне функціонування mini-till доцільно розглядати в контексті інтегрованої системи управління забур'яненістю, а не як технологію, що передбачає винятково хімічний захист.

Технічна реалізація mini-till потребує відповідного машинно-технологічного забезпечення. Особливого значення набувають широкозахватні ґрунтообробні агрегати, спеціалізовані посівні комплекси, машини для подрібнення та рівномірного розподілення рослинних решток, а також комбіновані агрегати. Їх використання дає змогу скорочувати тривалість виконання технологічних операцій і підвищувати продуктивність машинно-тракторних агрегатів.

Важливою умовою ефективного застосування mini-till є узгодження параметрів технології з технічними характеристиками машин. Глибина та інтенсивність розпушування, робоча швидкість, ширина захвату, якість подрібнення пожнивних решток і рівномірність їх розподілення повинні відповідати агротехнічним вимогам конкретної культури.

Перспективним напрямом розвитку mini-till є інтеграція з технологіями точного землеробства. Використання навігаційних систем, дистанційного моніторингу, картування полів, сенсорних технологій та цифрового контролю технічного стану машин створює можливості для диференційованого управління технологічними операціями. Це дає змогу адаптувати глибину обробітку, норму внесення матеріалів та режими роботи агрегатів до просторової неоднорідності ґрунтових умов.

Отже, результати проведеного аналізу свідчать, що mini-till доцільно розглядати не як окрему технологічну операцію, а як комплексну систему управління ґрунтовими та машинно-технологічними процесами, яка поєднує мінімізацію механічного впливу, збереження рослинних решток, оптимізацію кількості технологічних проходів та використання сучасних технічних засобів.

Висновки. Технологія mini-till є ресурсозберігальною системою обробітку ґрунту, основними принципами якої є мінімізація механічного впливу, відмова

від систематичної полицевої оранки та збереження частини рослинних решток на поверхні поля. Реалізація mini-till передбачає адаптивний набір технологічних операцій, склад і параметри яких повинні визначатися ґрунтово-кліматичними умовами, біологічними особливостями культур, фітосанітарним станом посівів та технічними можливостями господарства. Збереження пожнивних решток є одним із визначальних елементів технології, оскільки сприяє захисту поверхні ґрунту, регулюванню водного режиму та поверненню органічної речовини до ґрунтової системи. Скорочення кількості технологічних проходів машинно-тракторних агрегатів створює передумови для зменшення витрат пального, трудових ресурсів та експлуатаційного навантаження на техніку. Підвищення ефективності цього напряму можливе за рахунок застосування комбінованих машин. Основними проблемними аспектами mini-till залишаються контроль сегетальної рослинності, ефективне управління рослинними рештками, необхідність відповідного технічного оснащення та адаптація технологічних параметрів до конкретних виробничих умов. Перспективність mini-till пов'язана з її інтеграцією з технологіями точного землеробства, цифрового моніторингу, автоматизованого управління машинно-технологічними процесами та диференційованого виконання технологічних операцій. Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне оцінювання впливу параметрів mini-till на агрофізичні властивості ґрунту, продуктивність машинно-тракторних агрегатів, енергетичні витрати, урожайність та економічну ефективність виробництва в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Список використаних джерел

1. Медведєв В.В. Система мінімального обробітку ґрунту в Україні: монографія. – Харків: КП «Міська друкарня», 2010. – 240 с.

2. Клименко М.О. Розробка інтегрованої системи управління ґрунтовими факторами родючості для підвищення продуктивності пшениці озимої / Клименко М.О., Колесник Т.М., Налобіна О.О., Ковальчук Н.С., Голотюк М.В. // Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2025. – Вип. 1(109). – С.69-80.

3. Бойко П.І., Гангур В.В., Коваленко Н.П. Системи землеробства і охорона ґрунтів: монографія. – Полтава: ПП «Астрая», 2018. – 360 с..

4. Кириченко Р. В., Лубченко Є. В., Козій О. Б., Колпаченко А. О. Огляд конструкцій посівних машин для Mini-Till та No-Till технологій у системах ресурсозберігаючого землеробства. (2025). Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів», 26, 25-35. https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-25-35

5. Кириченко Р.В., Лубченко Є.В., Калашник В.В. Технологічні умови сівби зернових культур за ресурсозберігаючою технологією Mini-Till. Молодь і технічний прогрес в АПВ: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. Х.: ДБТУ. 2023. С. 145-146.

6. Вишневецька О. СУЧАСНІ ТРЕНДИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ. Collection of Scientific Papers «SCIENTIA», (April 22, 2022; Chicago, USA), 10–12. Retrieved from https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/83

УДК 631.31:631.51

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ ҐРУНТУ

Гроза Т. В., Литвиненко В. М.
Полтавський державний аграрний університет

Лущення ґрунту є важливою складовою системи основного та поверхневого обробітку, спрямованою на підрізання бур’янів і пожнивних решток, часткове розпушування верхнього шару ґрунту та створення сприятливих умов для подальших технологічних операцій. Якість виконання цього процесу безпосередньо впливає на ефективність наступного обробітку поля, рівномірність заробляння рослинних решток та фітосанітарний стан посівного шару.

Фактична якість лущення формується під дією комплексу взаємопов’язаних природно-виробничих і технічних чинників. До них належать фізико-механічні властивості ґрунту, його вологість і структурний стан, кількість пожнивних решток та бур’янів, культура-попередник, конструктивні параметри агрегату, режими його роботи, налаштування дискових робочих органів та ступінь їх спрацювання.

Недостатнє врахування зазначених факторів може призводити до нерівномірної глибини обробітку, неповного підрізання рослинних решток і бур’янів, утворення надмірно високих гребенів, погіршення структурного стану ґрунту та зростання енергетичних витрат. Тому встановлення закономірностей впливу основних факторів на якість лущення є актуальним завданням удосконалення машинно-технологічного забезпечення ґрунтообробних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність лущення значною мірою визначається відповідністю конструкції та режимів роботи ґрунтообробного агрегату конкретним польовим умовам. Залежно від типу ґрунту, його щільності, вологості, твердості, структурного стану та рівня забур’яненості застосовують дискові або лемішні лущильники, а також важкі дискові борони. Важливим критерієм вибору є також кількість і характер розміщення пожнивних решток після збирання попередньої культури.

Особливе значення для роботи дискових машин мають параметри їх налаштування. До основних конструктивно-технологічних параметрів належить кут атаки диска – кут між площиною його обертання та напрямком поступального переміщення агрегату. Іншим важливим параметром є положення площини диска відносно вертикалі, яке визначає просторову орієнтацію робочого органу [1-3].

Зі збільшенням кута атаки, як правило, підвищується інтенсивність взаємодії диска з ґрунтом, посилюється підрізання рослинних решток і бур’янів та збільшується інтенсивність розпушування. Водночас надмірне збільшення

цього параметра може супроводжуватися інтенсивнішим переміщенням ґрунту та зростанням енергетичних витрат.

Дослідженнями встановлено залежність повноти підрізання пожнивних решток і бур'янів не лише від кута атаки, а й від швидкості руху агрегату. Найбільш сприятливі результати отримують за кута атаки близько 35° та робочої швидкості 7–10 км/год. Подальше збільшення швидкості до 12 км/год може призводити до зростання кількості непідрізаних рослинних решток і бур'янів. Одночасно зі збільшенням швидкості спостерігається тенденція до зменшення фактичної глибини заглиблення дисків, тоді як збільшення кута атаки сприяє її підвищенню [4,5].

Таким чином, вибір режимів роботи повинен здійснюватися диференційовано залежно від стану поля. На ґрунтах із підвищеною щільністю та значною кількістю рослинних решток доцільним є застосування більших значень кута атаки, тоді як за меншої забур'яненості та сприятливих умов його можна зменшувати.

Окремим фактором, який визначає стабільність технологічних параметрів, є технічний стан дискових робочих органів. У процесі експлуатації вони зазнають абразивного зношування внаслідок постійного контакту з ґрунтом. Абразивність ґрунту зумовлює поступову зміну геометрії різальної частини диска, що негативно позначається на його здатності ефективно проникати в ґрунт і підрізати рослинні рештки.

За польових умов ресурс дискових робочих органів може становити до 50 га. Оптимальною вважається товщина різальної кромки в межах 0,15–0,5 мм. За збільшення її товщини до граничного значення близько 1,5 мм технологічна ефективність диска істотно знижується, а якість обробітку ґрунту, за наведеними даними, може погіршуватися приблизно на 70 % [6].

Наведені результати свідчать, що оцінювання якості лущення необхідно здійснювати не за одним показником, а за сукупністю параметрів, які характеризують як результат взаємодії робочого органу з ґрунтом, так і ступінь виконання встановлених агротехнічних вимог.

Мета. Метою досліджень є встановлення та систематизація основних природно-виробничих, конструктивних і експлуатаційних факторів, що визначають якість технологічного процесу лущення ґрунту, а також оцінювання впливу параметрів налаштування та технічного стану дискових робочих органів на повноту підрізання рослинних решток і якість обробітку.

Результати досліджень. Аналіз технологічного процесу лущення показав, що його якість формується внаслідок одночасної дії декількох груп факторів. Першу групу становлять ґрунтові умови: тип і структурний стан ґрунту, його щільність, твердість та вологість. Друга група характеризує стан рослинного покриву після збирання попередника – кількість і характер розподілу пожнивних решток, а також рівень забур'яненості. Третю групу утворюють технічні та експлуатаційні параметри агрегату, зокрема конструкція робочих органів, їх налаштування, швидкість руху та технічний стан.

Залежно від поєднання зазначених умов визначають тип ґрунтообробної машини та режим її роботи. Застосування дискових лущильників є доцільним у випадках, коли необхідно забезпечити інтенсивне перемішування верхнього шару ґрунту та ефективне підрізання рослинних решток. За інших ґрунтово-кліматичних умов перевага може надаватися лемішним лущильникам або важким дисковим боронам.

Одним із визначальних регульованих параметрів дискового робочого органу є кут атаки. Його збільшення сприяє посиленню бокового переміщення ґрунту, підвищенню інтенсивності його розпушування та поліпшенню підрізання бур'янів. Водночас величина кута атаки не може розглядатися незалежно від швидкості руху агрегату та властивостей ґрунту.

За результатами аналізу встановлено, що поєднання кута атаки близько 35° зі швидкістю руху 7-10 км/год забезпечує сприятливі умови для якісного підрізання пожнивних решток і бур'янів. Подальше збільшення швидкості до 12 км/год не забезпечує пропорційного підвищення якості, а може спричиняти збільшення кількості непідрізаних рослин та погіршення рівномірності обробітку.

Важливим показником результативності дискового лущення є глибина ходу робочих органів. Встановлено, що зі збільшенням швидкості руху вона має тенденцію до зменшення, тоді як збільшення кута атаки сприяє заглибленню дисків. Отже, стабільність глибини обробітку потребує узгодженого регулювання параметрів робочих органів та швидкісного режиму.

Для оцінювання якості лущення доцільно використовувати комплекс показників. До основних належать висота гребенів після проходження агрегату, рівномірність глибини обробітку та повнота підрізання пожнивних решток і бур'янів. При цьому повнота підрізання є одним із найбільш інформативних показників, оскільки безпосередньо характеризує виконання основного технологічного призначення операції.

Окремої уваги потребує контроль технічного стану дисків. У процесі роботи різальна кромка піддається інтенсивному абразивному впливу частинок ґрунту. Унаслідок цього відбувається її затуплення та зміна геометричних параметрів робочого органу. Зі збільшенням товщини різальної кромки погіршуються умови проникнення диска в ґрунт, знижується його здатність до ефективного підрізання рослин і змінюється характер взаємодії робочого органу з ґрунтом.

За товщини різальної кромки 0,15–0,5 мм забезпечуються найбільш сприятливі умови функціонування диска. При збільшенні її товщини до 1,5 мм якість обробітку може знижуватися до 70 % порівняно з оптимальним станом робочого органу [6]. Це підтверджує необхідність регулярного контролю ступеня спрацювання дисків та своєчасного їх відновлення або заміни.

Отже, забезпечення необхідної якості лущення потребує комплексного підходу, за якого параметри машини та режими її роботи адаптуються до конкретних ґрунтових умов і стану поля. При цьому технічний стан дискових

робочих органів повинен розглядатися як самостійний фактор, здатний суттєво змінювати результати технологічної операції.

Висновки. Якість лущення ґрунту визначається сукупною дією ґрунтових, агротехнологічних, конструктивних та експлуатаційних факторів. Найбільш значущими з них є фізико-механічні властивості ґрунту, його вологість, рівень забур'яненості, кількість пожнивних решток, тип агрегату, параметри налаштування робочих органів і швидкість руху.

Для дискових лущильників визначальним регульованим параметром є кут атаки дисків. Його збільшення підвищує інтенсивність розпушування та сприяє повнішому підрізанню рослинних решток і бур'янів, однак оптимальне значення необхідно встановлювати з урахуванням конкретних умов поля.

Найбільш сприятливе поєднання параметрів для якісного підрізання пожнивних решток і бур'янів за наведеними результатами спостерігається при куті атаки 35° та швидкості руху 7–10 км/год. Збільшення швидкості до 12 км/год може погіршувати якість лущення та збільшувати кількість непідрізаних рослинних решток.

Основними показниками оцінювання якості лущення доцільно вважати висоту гребенів, стабільність глибини обробітку та повноту підрізання пожнивних решток і бур'янів. Їх комплексне визначення забезпечує об'єктивнішу оцінку технологічної ефективності агрегату.

Абразивне зношування дискових робочих органів є одним із чинників погіршення якості лущення. Підтримання товщини різальної кромки в межах 0,15–0,5 мм сприяє збереженню необхідних технологічних властивостей диска, тоді як її збільшення до 1,5 мм супроводжується істотним зниженням якості обробітку.

Підвищення ефективності лущення доцільно забезпечувати шляхом адаптивного вибору параметрів роботи агрегату з одночасним контролем технічного стану дискових робочих органів. Такий підхід дає змогу узгодити режими роботи машини з конкретними ґрунтовими умовами та стабілізувати якість виконання технологічної операції.

Список використаних джерел

1. Вольський В. Вітчизняні дискові агрегати. The Ukrainian Farmer. 2013. № 10 (47), жовтень. С. 96–97.

2. Погорілий В. Дослідження ефективності різних типів дискових робочих органів при поверхневому обробітку ґрунту. Велес-Агро. 2015. Режим доступу: http://www.velesagro.com/company/articles/2015/07/21/19/

3. Дискові знаряддя для обробітку ґрунту. Агротехніка і технології. Режим доступу: https://www.agronom.com.ua/dyskovi-znaryaddya-dlya-obrobitku-gruntu/.

4. Godwin R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. Soil and Tillage Research. 2007. Vol. 97. P. 331–340.

5. Mari I. A., Chandio F. A., Changying J., Arslan C., Sattar A., Tagar A. A., Huimin F. Performance and evaluation of disc tillage tool forces acting on straw incorporation soil. Pak. J. Agri. Sci. 2014. Vol. 51, № 4. P. 855–860.

6. Русін О. М., Ляшенко С. В. Аналіз факторів, що впливають на виконання технологічної операції лущення стерні. Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 2-3 червня 2022 р. Полтава: ПДАУ, 2022. С. 106-109.

УДК 631.354:631.3

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ РУХУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОМБАЙНУВАННЯ

Гроза Т. В., Яковенко М. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність виконання технологічних операцій під час збирання зернових культур значною мірою визначається раціональною організацією руху машинно-тракторного агрегату. Правильно обраний спосіб руху забезпечує повніше використання робочої ширини захвату машини, зменшення довжини холостих переміщень, скорочення непродуктивних витрат часу та пального, а також дотримання встановлених агротехнічних вимог.

Вибір схеми руху повинен здійснюватися з урахуванням конфігурації та розмірів поля, виду технологічної операції, конструктивних особливостей машин, ширини захвату робочого органу, умов виконання поворотів і необхідності мінімізації холостих проходів. У практиці механізованого землеробства застосовують рух всклад і врозгін, комбіновані, човникові, діагонально-перехресні, перехресні, колові, загінні та загінно-петльові схеми.

Особливої уваги потребує організація технологічного процесу прямого комбайнування, оскільки від узгодженості траєкторії руху комбайна, параметрів загінки та ширини захвату жатки залежить продуктивність агрегату й рівень втрат зерна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних технологіях механізованого виробництва вибір способу руху агрегату розглядається як один із важливих елементів організації технологічного процесу. Основними критеріями його оцінювання є відповідність агротехнічним вимогам, забезпечення високої продуктивності, раціональне використання робочої ширини захвату та мінімізація холостих переміщень.

Для зернозбиральних машин ефективність технологічного процесу додатково визначається якістю роботи жатки, молотильно-сепарувальної системи, очищення та системи транспортування зерна. Невідповідність режимів роботи окремих робочих органів умовам збирання може спричиняти збільшення втрат, дроблення зерна, недомолот або погіршення якості очищення [1,2].

Контроль якості роботи зернозбирального комбайна доцільно здійснювати безпосередньо під час виконання технологічної операції та після її завершення. Поточний контроль дає змогу оперативно коригувати режими роботи машини,

тоді як підсумкове оцінювання дозволяє визначити фактичну якість виконання операції та відповідність отриманих показників установленим агротехнічним вимогам [3,4].

Мета. Метою досліджень є обґрунтування раціональної схеми руху зернозбирального агрегату під час прямого комбайнування, визначення параметрів підготовки поля та встановлення основних показників оперативного й підсумкового контролю якості виконання технологічної операції.

Результати досліджень. Для проведення прямого комбайнування розглянуто поле площею 63 га з геометричними параметрами 700 × 900 м. Збирання передбачається виконувати зернозбиральним комбайном ДОН-1500 у комплекті з жаткою ЖВН-6,0.

З урахуванням конструктивних особливостей агрегату, параметрів поля, характеру технологічної операції та необхідності зменшення холостих переміщень прийнято човниковий спосіб руху з петльовими поворотами. Така схема забезпечує послідовне використання робочої ширини жатки та створює сприятливі умови для організації технологічного процесу на загінці.

Підготовка поля до роботи включає визначення напрямку першого проходу, виділення поворотних смуг та встановлення їх необхідної ширини. Ширину поворотної смуги узгоджують із робочою шириною захвату жатки та кількістю проходів, необхідних для її формування. Для прийнятих умов ширину поворотної смуги встановлено на рівні 25,6 м, що забезпечує виконання поворотів без істотного порушення організації технологічного процесу. Схематичне зображення підготовки поля та траєкторії руху агрегату доцільно подати на рисунку 1.

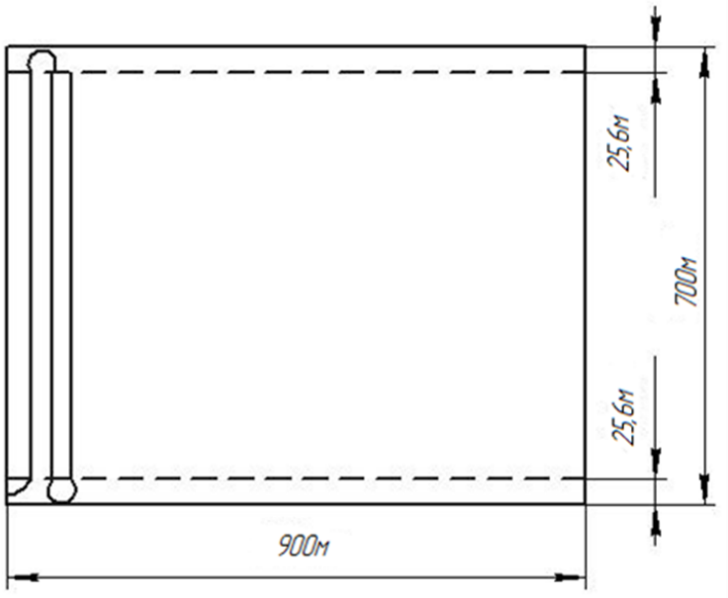


Рис. 1. Схема підготовки поля

Важливим елементом забезпечення ефективності комбайнування є систематичний контроль якості роботи машини. Його доцільно здійснювати у два послідовні етапи.

Перший етап – оперативний контроль під час роботи комбайна. Його основним виконавцем є комбайнер, а результати роботи періодично контролюють бригадир або обліковець. Такий підхід дає можливість своєчасно виявляти порушення технологічного процесу та оперативно змінювати налаштування робочих органів.

Одним із основних показників є рівень втрат зерна за молотаркою, який відповідно до прийнятих агротехнічних вимог не повинен перевищувати 1,5 %. Для визначення фактичних втрат використовують контрольну рамку площею 1 м². Рамку встановлюють у зоні проходу комбайна декілька разів, як правило, у 4-5 повтореннях, після чого збирають зерно, що залишилося на поверхні поля, та визначають його масу. Отримані результати використовують для розрахунку рівня втрат.

Під час оперативного контролю також оцінюють повноту обмолоту та відсутність необмолочених або пропущених рослин. Особливу увагу приділяють стану зернового вороху в бункері, оскільки його характеристики можуть свідчити про неправильне налаштування окремих робочих органів комбайна.

У разі підвищеної частки дробленого зерна необхідно зменшити частоту обертання молотильного барабана. Наявність значної кількості полови у бункері може свідчити про недостатню інтенсивність повітряного потоку, що потребує збільшення частоти обертання вентилятора. За підвищеної засміченості зерна рослинними рештками та бур'янами доцільно знизити швидкість руху комбайна та перевірити налаштування системи очищення.

Виявлення значної кількості зерна в необмолочених бобах або інших частинах рослин свідчить про недостатню інтенсивність процесу обмолоту. У такому випадку необхідно скоригувати частоту обертання барабана та зазор між його робочими елементами. Наявність повноцінного зерна у соломі може бути наслідком неправильної роботи сепараційної системи, тому необхідно перевірити положення верхнього решета та, за потреби, виконати його очищення.

Другий етап – підсумковий контроль після завершення технологічної операції. Його здійснюють агроном та бригадир. На цьому етапі визначають відповідність фактичних результатів встановленим агротехнічним вимогам. Основну увагу приділяють визначенню загальних втрат зерна за молотильно-сепарувальною системою, оцінюванню якості обмолоту та рівномірності розподілу подрібненої соломи по поверхні поля.

Якість розподілу рослинних решток має важливе значення для подальшого виконання технологічних операцій. Нерівномірне розміщення соломи може ускладнювати наступний обробіток ґрунту, спричиняти неоднакові умови для проростання культур і знижувати ефективність використання ґрунтообробних агрегатів.

Таким чином, організація роботи комбайна повинна передбачати не лише вибір оптимальної траєкторії руху, а й постійний моніторинг основних показників якості технологічного процесу. Поєднання раціональної схеми руху з оперативним регулюванням робочих органів створює передумови для

зменшення втрат зерна, підвищення продуктивності комбайна та забезпечення належної якості збирання..

Висновки. Для поля площею 63 га з розмірами 700 × 900 м під час прямого комбайнування комбайном ДОН-1500 із жаткою ЖВН-6,0 доцільно застосовувати човникову схему руху з петльовими поворотами, яка відповідає технологічним особливостям операції та дає змогу раціонально використовувати робочу ширину жатки.

Підготовка поля повинна включати визначення першої технологічної лінії руху та формування поворотних смуг. Для прийнятих умов ширину поворотної смуги встановлено 25,6 м, що узгоджується з параметрами робочої ширини агрегату та забезпечує виконання поворотів.

Контроль якості комбайнування доцільно проводити у два етапи: оперативно – безпосередньо під час роботи агрегату, та підсумково – після завершення технологічної операції. Така система контролю забезпечує можливість своєчасного виявлення відхилень і коригування режимів роботи машини.

Основними показниками оперативного контролю є втрати зерна, повнота обмолоту, ступінь дроблення зерна, якість очищення та наявність зерна в соломі. Втрати за молотаркою повинні відповідати встановленим агротехнічним вимогам і не перевищувати 1,5 %.

Раціональне налаштування частоти обертання молотильного барабана, вентилятора, решіт та швидкості руху комбайна дає змогу оперативно впливати на якість обмолоту й очищення зерна. Комплексний контроль технологічного процесу є необхідною умовою забезпечення ефективності прямого комбайнування та мінімізації втрат урожаю..

Список використаних джерел

1. Мельник В., Рева Р., Калнагуз О., Горовий М. Збирання зернових та огляд машин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023.–430 с., 143.

2. Демко О.А. Визначення числових значень механічних втрат за молотаркою зернозбиральних комбайнів / [О. А. Демко, А. А. Демко, А. А. Руденський, В. Е. Лукін, В. М. Решетюк] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2012. – Вип. 170. – Ч. 2. – С. 169–178. (Здобувачем визначено значення механічних втрат зерна за молотаркою).

3. Герасименко Р.Д. Система моніторингу врожайності сільськогосподарських культур /Р.Д. Герасименко, О.О. Броварець// Науково-практичний журнал Зберігання і переробка зерна, №7 (184), 2014 рік., с. 22-24.

4. Зубко В. М. Прилади, обладнання та системи оцінки якості проведення збирання зернових культур. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 199 «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2019. С. 109-122.

УДК 635.21:631.563

СУЧАСНІ СПОСОБИ ЗБЕРІГАННЯ КАРТОПЛІ

Грудовий Р. С. Писов В. С.
Поліський національний університет

Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур, яка широко використовується для безпосереднього споживання, промислової переробки та як насіннєвий матеріал. Особливістю картоплі як об'єкта зберігання є те, що після збирання бульби залишаються живими біологічними об'єктами, в яких продовжуються процеси дихання, транспірації, перетворення вуглеводів та поступового виходу зі стану спокою. Тому навіть після закладання продукції на зберігання відбуваються фізіологічні й біохімічні процеси, які можуть спричиняти втрату маси, проростання, розвиток мікроорганізмів та погіршення товарної якості бульб [1].

Головним завданням сучасної технології зберігання картоплі є максимальне збереження її початкової якості, харчової цінності та товарного вигляду за мінімальних кількісних втрат. Ефективність зберігання значною мірою залежить від температури, відносної вологості повітря, інтенсивності повітрообміну, призначення продукції, сорту картоплі, фізіологічного стану бульб та їх пошкодженості під час збирання і транспортування [1, 2].

Важливим технологічним етапом є лікувальний період, або період загоєння механічних пошкоджень. Після збирання картопля часто має пошкодження шкірки, порізи та удари, через які інтенсивно випаровується волога та можуть проникати збудники хвороб. Упродовж лікувального періоду створюються умови для формування захисної тканини на пошкоджених ділянках. Після цього температуру поступово знижують до значень, які відповідають подальшому призначенню продукції.

Одним із найбільш поширених способів є зберігання картоплі у сховищах із природною вентиляцією. Повітрообмін у таких приміщеннях відбувається внаслідок різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря. Перевагами цього способу є відносна простота конструкції сховища, невеликі енергетичні витрати та доступність для невеликих сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств. Водночас природна вентиляція суттєво залежить від погодних умов і не завжди дає змогу забезпечити рівномірний температурно-вологісний режим у всій масі продукції. Особливо це проявляється за значної висоти шару картоплі та нерівномірного розміщення бульб у сховищі [3].

Більш ефективним є активне вентилювання, за якого повітря примусово подається вентиляторами через систему повітропроводів у масу картоплі. Такий спосіб дозволяє регулювати температуру, видаляти надлишкову вологу, тепло та вуглекислий газ, що утворюються внаслідок дихання бульб. Повітря може подаватися через канали, розташовані під підлогою сховища, або через спеціальні вентиляційні системи. Рівномірність розподілу повітряного потоку

має особливе значення, оскільки утворення зон із підвищеною температурою та вологістю сприяє розвитку хвороб і збільшенню втрат продукції [2, 3].

У сучасних великих картоплесховищах широкого застосування набуло холодильне зберігання. Такі системи обладнуються холодильними установками, вентиляторами, датчиками температури та вологості, автоматичними системами керування мікрокліматом. Перевагою холодильного способу є можливість підтримувати необхідний режим незалежно від зовнішніх погодних умов.

Температуру зберігання необхідно встановлювати залежно від призначення картоплі. Для насіннєвого матеріалу застосовують нижчі температури, які сприяють тривалому збереженню стану спокою. Продовольчу картоплю, як правило, зберігають за дещо вищих температур. Для картоплі, призначеної для виготовлення чипсів або картоплі фрі, температура повинна бути вищою, ніж для насіннєвої, оскільки надмірне охолодження сприяє накопиченню редукуючих цукрів. У результаті під час смаження продукція може набувати небажаного темного забарвлення [1, 3].

Важливим фактором є відносна вологість повітря. За надто низької вологості бульби інтенсивно втрачають воду, зменшується їх маса, погіршується пружність і товарний вигляд. Надмірно висока вологість у поєднанні з коливаннями температури може спричинити утворення конденсату та створити сприятливе середовище для розвитку грибних і бактеріальних захворювань. Тому сучасні сховища оснащують системами автоматичного контролю температури й вологості [2].

Картоплю можна зберігати насипом або в контейнерах. Насипний спосіб характеризується високим коефіцієнтом використання об’єму приміщення і є ефективним для великих однорідних партій продукції. Водночас зі збільшенням висоти насипу зростають вимоги до вентиляційної системи, оскільки повітря повинно рівномірно проходити через усю товщу продукції.

Контейнерний спосіб є одним із найбільш перспективних для господарств, які працюють із декількома сортами або окремими партіями картоплі. Його перевагами є можливість механізації завантажувально-розвантажувальних операцій, зменшення кількості перевантажень продукції, кращий доступ повітря до бульб і можливість окремого зберігання різних партій. Водночас ефективність контейнерного зберігання значною мірою визначається конструктивними параметрами контейнера: його розмірами, місткістю, висотою шару картоплі, площею та розташуванням вентиляційних отворів.

Особливо перспективним напрямом є застосування автоматизованих систем керування мікрокліматом. У сучасному картоплесховищі датчики безперервно реєструють температуру продукції, температуру зовнішнього і внутрішнього повітря, відносну вологість, а в окремих системах – концентрацію вуглекислого газу. Контролер аналізує отриману інформацію та автоматично змінює режим роботи вентиляторів, холодильних агрегатів, клапанів і зволожувачів. Такий підхід дозволяє підтримувати задані параметри середовища та одночасно зменшувати енергоспоживання.

Сучасним напрямом удосконалення технологій є використання елементів точного моніторингу, цифрових систем та Internet of Things (IoT). Розміщені в

різних зонах сховища сенсори дозволяють виявляти локальні осередки підвищеної температури або вологості ще до появи помітних ознак псування продукції. Накопичення даних за тривалий період дає можливість оптимізувати режими вентиляції та прогнозувати зміну стану продукції.

Однією з основних проблем тривалого зберігання залишається проростання бульб. Проростання супроводжується посиленням дихання, використанням запасних поживних речовин, втратою води і зниженням товарної якості. Тривалий час для його контролю застосовували хімічні інгібітори. Сучасні дослідження спрямовані на пошук більш безпечних способів, зокрема використання 1,4-диметилнафталіну, ефірних олій та інших біологічно активних речовин [4, 5]. Ефективність таких засобів залежить від сорту картоплі, температури зберігання, концентрації препарату та способу його внесення.

Перспективним також вважають застосування регульованого газового середовища, в якому контролюється вміст кисню та вуглекислого газу. Зміна газового складу впливає на інтенсивність дихання і фізіологічний стан бульб. Проте технологія регульованої атмосфери вимагає герметичних приміщень, спеціального обладнання та точного контролю параметрів, тому її використання повинно поєднуватися з оптимальним температурно-вологісним режимом.

Останні дослідження свідчать, що роль автоматичного керування умовами зберігання надалі зростатиме. Зміни клімату, підвищення температури навколишнього середовища та нестабільність погодних умов можуть скорочувати природний період спокою бульб і підвищувати ризики їх передчасного проростання та розвитку хвороб [6]. Відповідно, системи зберігання повинні бути здатними адаптивно реагувати на зміну зовнішніх умов.

Список використаних джерел

1. Czerko Z., Boguszewska-Mańkowska D. et al. Postharvest physiology and storage of potato. Potato Production Worldwide. Academic Press, 2023. P. 261–272. DOI: 10.1016/B978-0-12-822925-5.00001-3.

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Potato and Sweet Potato in Africa: Transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security. Rome: FAO, 2010.

3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Farm Structures in Tropical Climates: Crop Handling, Conditioning and Storage. Semi-perishable Crops. Rome: FAO.

4. Thoma J., Zheljazkov V. D. Sprout Suppressants in Potato Storage: Conventional Options and Promising Essential Oils – A Review. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 11. Art. 6382. DOI: 10.3390/su14116382.

5. Visse-Mansiaux M., Tallant M., Brostaux Y., Delaplace P., Vanderschuren H., Dupuis B. Assessment of pre- and post-harvest anti-sprouting treatments to replace CIPC for potato storage. Postharvest Biology and Technology. 2021. Vol. 178. Art. 111540. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111540.

6. Zhang S., Wang X., Kinay P., Dau Q. Climate Change Impacts on Potato Storage. Foods. 2024. Vol. 13, No. 7. Art. 1119. DOI: 10.3390/foods13071119.

УДК 631.31

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОФІЛЮ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Гузь В. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Енергоємність механічної обробки ґрунту визначається не лише фізико-механічними властивостями ґрунту і режимом руху агрегату, а й геометрією робочої поверхні ґрунтообробного органу. Зміна кута нахилу, кривизни та форми поверхні змінює напрям переміщення ґрунту, розподіл контактних тисків і дотичних напружень, розміри зони деформування, характер руйнування структури ґрунту і, зрештою, тяговий опір.

Тому завдання проєктування має формулюватися не лише як розрахунок опору вже заданого робочого органу, а й як визначення такої геометрії поверхні, яка забезпечує необхідний технологічний вплив при мінімальних енергетичних витратах. У цьому випадку геометрія стає невідомим параметром або невідомою функцією задачі оптимізації.

$$x = P\left(z;\xi\right). \tag{1}$$

Тут $P(z;\ \xi)$ – профіль робочої поверхні, z – координата по глибині, а ξ – сукупність геометричних параметрів, що змінюються. Така зміна означає перехід від аналізу заданої конструкції до математичного розрахунку форми робочого органу.

Класична теорія взаємодії ґрунтообробного робочого органу з ґрунтом значною мірою розвивалася на основі механіки ґрунтів, теорії граничної рівноваги, клинових моделей та умов Кулона-Мора. У таких моделях заздалегідь передбачався механізм руйнування, виділявся клин або блок ґрунту, і на основі умов його рівноваги визначалася результуюча сила опору [1].

Перевагою такого підходу є можливість отримувати порівняно прості інженерні залежності. Однак для оптимізації довільного криволінійного профілю його можливості обмежені: положення поверхні руйнування та механізм руху масиву часто мають бути задані заздалегідь, а результатом зазвичай є інтегральні сили, а не повні поля напружень і деформацій.

В той же час, для оптимізації форми необхідно знати стан середовища не тільки у вигляді результуючої сили, але й у кожній точці розглянутої області:

$$u\left(x,z\right),\ w\left(x,z\right);\ \varepsilon_{xx}\left(x,z\right),\ \varepsilon_{zz}\left(x,z\right),\ \gamma_{xz}\left(x,z\right);\ \sigma_{xx}\left(x,z\right),\ \sigma_{zz}\left(x,z\right),\ \tau_{xz}\left(x,z\right). \tag{2}$$

Уявлення ґрунту як квазісуцільного середовища засноване на усередненні його дискретної структури. Ґрунт, на мікрорівні, складається з частинок, пор та

включень, однак у масштабі, його механічний стан може описуватися неперервними полями переміщень, деформацій та напружень.

$$u = u(x,z),\ \varepsilon = \varepsilon(x,z),\ \sigma = \sigma(x,z). \tag{3}$$

Термін «квазісуцільний» підкреслює фізичну неоднорідність реального ґрунту й водночас дозволяє застосовувати апарат механіки деформованого суцільного тіла на обраному масштабі усереднення, що дає змогу аналітично пов'язати форму робочого органу з локальним напружено-деформованим станом ґрунту.

Такий підхід дозволяє послідовно розглядати пружну стадію, перехід до граничного стану, пружно-пластичне деформування, зміцнення або ущільнення та контактне тертя. При цьому геометрія робочої поверхні безпосередньо входить до граничних умов і, отже, до полів переміщень, деформацій та напружень.

Принципово важливим для задачі оптимізації є перехід від визначення лише інтегрального опору робочого органу до дослідження розподіленого напружено-деформованого стану ґрунтового середовища. Адже це дає змогу встановити безпосередній зв'язок між геометрією робочої поверхні, локальними переміщеннями, деформаціями та напруженнями ґрунту, контактними навантаженнями та енергетичними показниками процесу [2, 3].

У подальшому метод кінцевих елементів (FEM) став одним з основних чисельних засобів дослідження взаємодії «ґрунт-робочий орган». Його застосовують для визначення розподілів напружень, деформацій, зон руйнування, а також горизонтальних і вертикальних сил [4, 5].

Сильною стороною FEM є можливість враховувати складну геометрію, неоднорідність та нелінійні визначальні співвідношення. Однак при прямій оптимізації форми кожна нова комбінація геометричних параметрів вимагає формування або перебудови розрахункової моделі, розв'язання нелінійної контактної задачі та нового обчислення цільової функції.

Іншим способом є використання методу дискретних елементів (DEM), що дозволяє моделювати розрив зв'язків, перебудову структури, значні переміщення частинок та формування локальних зон руйнування. Водночас при його використанні існують принципові труднощі, а саме, відсутність універсального способу визначення мікромеханічних параметрів, необхідність їх калібрування та вплив прийнятих розмірів й форми модельних частинок на макроскопічний результат. Обчислювальні обмеження також часто вимагають використання частинок, більших за реальні ґрунтові частинки [6].

Отже, DEM є особливо цінним під час дослідження руйнування, перемішування та великих відносних переміщень, однак для аналітичного аналізу профілю він не забезпечує явного функціонального зв'язку між геометрією робочого органу, полями стану та енергетичним критерієм.

Ключова перевага квазіплощинної постановки полягає в можливості зберегти безперервний функціональний зв’язок між геометрією робочого органу та механічним станом ґрунту.

Ці три підходи доцільно розглядати як елементи єдиної ієрархічної схеми. Актуальність задачі оптимізації геометричного профілю ґрунтообробного робочого органу визначається необхідністю перейти від емпіричного підбору форми та розрахунку опору заданої конструкції до керованого формування напружено-деформованого стану ґрунту за допомогою геометрії робочої поверхні.

Уявлення ґрунту як квазісуцільного деформованого середовища дозволяє враховувати просторові розподіли переміщень, деформацій, напружень і контактних навантажень. При аналітичному або аналітико-асимптотичному розв’язанні зберігається явний зв’язок між параметрами форми, механічними властивостями ґрунту, полями стану та критерієм оптимальності.

У такій методології використання FEM і DEM не виключається, але їхня роль змінюється. Аналітична модель використовується для виявлення закономірностей і аналізу оптимального профілю, FEM і DEM методи – для незалежної чисельної перевірки та уточнення областей застосунку, а кінцевий експеримент – для ідентифікації параметрів та остаточної перевірки.

Кінцевим результатом стає не окрема оптимальна конструкція для одного набору умов, а сам алгоритм зміни геометрії. Таким чином, задача переноситься з рівня аналізу існуючих робочих органів на рівень математичного проєктування їхньої форми за заданим механічним й технологічним критерієм.

Список використаних джерел

1. McKyes E. Soil Cutting and Tillage. Developments in Agricultural Engineering. Vol. 7. Elsevier, 1985. 217 p.

2. Ковбаса В. П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом: дис. д-ра техн. наук: 05.05.11. Національний аграрний університет. Київ, 2005. 300 с.

3. Кушнарьов А. С. Механіко-технологічні основи процесу взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь із ґрунтом: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01. Челябінськ, 1981. 329 с.

4. Mouazen A. M., Neményi M. A review of the finite element modelling techniques of soil tillage. Mathematics and Computers in Simulation. 1998. Vol. 48, No. 1. P. 23–32. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-4754(98)00152-9

5. Mouazen A. M., Neményi M. Finite element analysis of subsoiler cutting in non-homogeneous sandy loam soil. Soil & Tillage Research. 1999. Vol. 51, No. 1–2. P. 1–15. DOI: https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00015-X

6. Shmulevich, I., Horn, R. (2010). State of the art modeling of soil–tillage interaction using discrete element method. *Soil & Tillage Research*, 111 (1), 41-53. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.003

УДК 631.372

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА КОЛІСНОГО ТА ГУСЕНИЧНОГО РУШІЇВ ТРАКТОРА КЛАСУ 1.4

Дерев'янко Д. А.*, *Вазінський В. І.
Поліський національний університет,
Хоменко С. М., Мельник О. П., Шевчук О. А.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується підвищенням вимог до енергоефективності машинно-тракторних агрегатів, зменшення витрат палива та негативного впливу ходових систем на ґрунт. Важливе значення при цьому має правильний вибір типу рушія трактора. Для тракторів класу 1,4 традиційно найбільш поширеним є колісний рушій, однак перспективним напрямом підвищення тягово-зчіпних властивостей є застосування гусеничних або змінних гусеничних модулів.

Метою дослідження є порівняльна оцінка експлуатаційних, тягово-зчіпних та агротехнічних показників колісного і гусеничного рушіїв трактора класу 1.4 та визначення умов їх раціонального використання.

Ефективність реалізації потужності двигуна трактора значною мірою залежить від взаємодії рушія з опорною поверхнею. При виконанні польових операцій частина потужності витрачається на подолання опору коченню або переміщенню рушія, деформацію ґрунту та буксування. Величина цих втрат визначається конструкцією ходової системи, навантаженням, характеристиками ґрунту та швидкістю руху.

Одним із основних показників впливу рушія на ґрунт є середній питомий тиск. Гусеничний рушій характеризується більшою площею контакту з ґрунтом порівняно з колісним. Унаслідок цього навантаження розподіляється на більшу опорну поверхню, що створює передумови для зниження питомого тиску на ґрунт. Це особливо важливо при роботі на перезволожених, пухких або слабконесучих ґрунтах, де надмірне ущільнення та утворення глибокої колії є небажаними.

Іншою важливою характеристикою є здатність рушія реалізувати тягове зусилля. Колісний трактор за несприятливих ґрунтових умов може характеризуватися підвищеним буксуванням ведучих коліс. Збільшення буксування супроводжується втратами швидкості руху, додатковими енергетичними витратами та руйнуванням верхнього шару ґрунту.

Застосування гусеничного рушія збільшує площу та довжину контакту рушія з поверхнею, що дозволяє ефективніше використовувати зчіпну вагу трактора. У результаті створюються умови для зменшення буксування і підвищення тягового зусилля, особливо при виконанні енергоємних технологічних операцій.

Зменшення буксування та втрат на деформацію ґрунту сприяє підвищенню частки потужності двигуна, яка може бути реалізована у вигляді корисної тягової роботи. Тому за однакової потужності двигуна трактор із гусеничним рушієм може мати переваги при роботі в умовах обмеженої несучої здатності ґрунту.

Водночас колісний рушій має ряд важливих експлуатаційних переваг. До них належать простіша конструкція, менша маса ходової системи, зручність технічного обслуговування, вища транспортна швидкість та краща маневреність. Колісний трактор є більш універсальним при частих переїздах дорогами загального призначення та виконанні транспортних робіт.

Гусеничний рушій конструктивно складніший і характеризується більшою кількістю елементів, що взаємодіють між собою. Це підвищує вимоги до технічного обслуговування ходової системи. Разом із тим застосування змінних гумоармованих гусеничних модулів дає можливість частково поєднати переваги обох типів рушіїв. Трактор може експлуатуватися на колесах під час транспортних та легких польових операцій, а в умовах підвищеного тягового навантаження або недостатньої несучої здатності ґрунту обладнуватися гусеничними модулями.

Порівняльна характеристика показує, що колісний рушій доцільно використовувати в умовах твердого та сухого агрофону, за необхідності забезпечення високої мобільності й виконання значного обсягу транспортних робіт. Гусеничний рушій має переваги при виконанні тяговоємних технологічних операцій, роботі на вологих і пухких ґрунтах, а також у випадках, коли важливим критерієм є зменшення буксування та питомого тиску на ґрунт.

Таким чином, вибір типу рушія трактора класу 1.4 повинен здійснюватися з урахуванням не лише номінальних тягових характеристик, але й конкретних умов його експлуатації. Перспективним напрямом удосконалення тракторів даного класу є використання змінних гусеничних модулів, конструктивні параметри та режими роботи яких можуть бути адаптовані до конкретних ґрунтових умов і величини тягового навантаження. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення залежностей між площею контакту гусениці з ґрунтом, навантаженням на рушій, буксуванням, швидкістю руху та тяговим ККД трактора.

Висновки. Порівняльна оцінка колісного та гусеничного рушіїв показує, що їх ефективність значною мірою визначається умовами експлуатації трактора. Колісний рушій забезпечує високу універсальність, мобільність і зручність транспортного використання. Гусеничний рушій створює сприятливі умови для реалізації тягових властивостей трактора, зменшення буксування та питомого тиску на ґрунт. Застосування змінних гусеничних модулів на тракторах класу 1.4 може бути ефективним способом підвищення їх тягових можливостей та адаптації до роботи в складних ґрунтових умовах.

Список використаних джерел

1. Погорілий С. П., Мірний В. Ю. Автотрактор. Теорія і конструкція : монографія. Глеваха : Лисенко М. М., 2025. 112 с. DOI: 10.37204/978-617-640-700-3.

2. Лебедєв С., Коробко А. Тягові властивості трактора з використанням баластування. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 26 (40). С. 66–73. DOI: 10.31473/2305-5987-2020-1-26(40)-5.

3. Шкарівський Г. В. Дослідження впливу параметрів рушія колісного трактора на показники ущільнення ґрунту. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування : зб. тез доп. XIX Міжнар. конф. наук.-пед. працівників, наук. співробітників та аспірантів, м. Київ, 23–27 берез. 2020 р. Київ, 2020. С. 116–117.

УДК 631.354:621.867

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТЕРІВ ЖАТКИ СТРІЧКОВОГО ТИПУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Деркач І.О., Деркач О.П., Мартишко В.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Збирання зернових культур є завершальним і найбільш відповідальним етапом технологічного процесу вирощування врожаю. Сучасні зернозбиральні комбайни характеризуються високою пропускною здатністю молотильно-сепарувальних пристроїв, однак їхня ефективність значною мірою визначається роботою жатки.

Жатка є одним із найважливіших робочих органів зернозбирального комбайна, оскільки саме вона забезпечує зрізування рослин, транспортування скошеної маси та її рівномірну подачу до транспортера похилої камери. Від конструкції жатки значною мірою залежать продуктивність комбайна, якість збирання, рівень втрат зерна, витрата палива та ефективність роботи в різних агротехнічних умовах. Ширина захвату сучасних жаток від 6 до 18 м. Нині для збирання зернових культур найбільш широко використовують такі типи жаток: шнекові, із гнучким різальним апаратом (Flex Header), жатки Vario та стрічкові.

Основні конструктивні елементи комбайнової жатки для збирання зернових культур: різальний апарат; мотовило; шнек або стрічкові транспортери; подільники; привод робочих органів; системи копіювання рельєфу поля; платформи, копіювальні колеса (для широкозахватних жаток). Кожен із цих елементів виконує окрему функцію, а їх узгоджена робота забезпечує мінімальні втрати зерна та високу пропускну здатність.

Найбільш поширеним типом є шнекові жатки, у яких зрізана маса після різального апарата захоплюється мотовилом і подається до центра жатки шнеком із пальцями, що ховаються. Така жатка має просту конструкцію, високу

надійність, відносно невисоку вартість, ефективна при середній урожайності. Основні недоліки: нерівномірне завантаження транспортера похилої камери; збільшення втрат при полеглих хлібах; обмеження щодо ширини захвату.

Жатки із гнучким різальним апаратом (Flex Header) оснащуються секційним різальним апаратом, який копіює рельєф поверхні поля. Особливо ефективні при збиранні низькорослих культур, сої, гороху, квасолі. Перевагою є мінімальна висота зрізу та практично повне підбирання нижніх бобів.

У жатках Vario робочий стіл може переміщатися вперед на 500…700 мм, що дозволяє оптимізувати подачу маси, покращити зрізування ріпаку, зменшити втрати при збиранні високостеблових культур.

У жатках стрічкового типу після зрізування рослини транспортуються стрічками із прогумованої тканини до центрального транспортера, який рівномірно подає масу в похилу камеру комбайна. Таку схему використовують провідні виробники: John Deere; CLAAS; New Holland та інші.

Аналіз сучасних конструкцій комбайнових жаток для збирання зернових культур показує, що найбільш перспективними для високопродуктивних зернозбиральних комбайнів є жатки стрічкового типу. Порівняно зі шнековими вони забезпечують більш рівномірний потік рослинної маси, зменшують втрати зерна, покращують роботу молотильно-сепарувальних пристроїв та дозволяють ефективно використовувати високопродуктивні зернозбиральні комбайни. Саме тому провідні світові виробники зернозбиральних комбайнів (John Deere, CLAAS, New Holland) активно розвивають цей напрям конструкцій жаток для збирання зернових культур.

Важливим моментом при розробці конструкції жатки стрічкового типу є визначення швидкості центрального і бокових транспортерів.

Розрахункова подача хлібної маси до молотарки зернозбирального комбайна повинна бути більшою або дорівнювати пропускній здатності центрального транспортера жатки стрічкового типу.

$$q_{\text{р}} \geq q_{\text{ц.тр}} \tag{1}$$

Пропускна здатність центрального транспортера жатки стрічкового типу визначається за формулою

$$q_{\text{ц.тр}} = \rho b_{\text{ц.тр}} h V_{\text{ц.тр}} \tag{2}$$

де $q_{\text{ц.тр}}$ - пропускна здатність центрального транспортера, кг/с;

$b_{\text{ц.тр}}$ – ширина центрального транспортера, м;

ρ - густина хлібної маси, кг/м^3;

h - висота шару стебел на транспортері, м;

$V_{\text{ц.тр}}$ – швидкість центрального транспортера

Звідси швидкість центрального транспортера

$$V_{\text{ц.тр}} = \frac{q_{\text{ц.тр}}}{\rho b_{\text{ц.тр}} h} \quad (3)$$

Отримане значення є мінімально необхідною швидкістю центрального транспортера, яка забезпечує транспортування хлібної маси лише за умов рівномірності потоку. При розрахунку необхідно враховувати нерівномірність урожайності і подачі хлібної маси, поперечні коливання жатки та запас пропускної здатності. Тому вводять коефіцієнт запасу $k = 4$.

Тоді

$$V_{\text{ц.тр}} = \frac{k \cdot q_{\text{ц.тр}}}{\rho b_{\text{ц.тр}} h} \quad (4)$$

Жатка стрічкового типу має два симетричних бокових транспортери. Швидкість $V_{\text{б}}$ бокового транспортера визначимо із виразу

$$V_{\text{б}} = \frac{0{,}5 q_{\text{ц.тр}}}{\rho b_{\text{б}} h}, \quad (5)$$

де $b_{\text{б}}$ – ширина бокового транспортера, м

Коефіцієнт запасу для бокових транспортерів $k = 3$.

Тоді

$$V_{\text{б}} = \frac{0{,}5 k q_{\text{ц.тр}}}{\rho b_{\text{б}} h} \quad (6)$$

Висновки. У результаті проведеного дослідження визначено швидкості центрального і бокових транспортерів жатки стрічкового типу.

Список використаних джерел

1. Kepner R. A., Bainer R., Barger E. L. Principles of Farm Machinery. 3rd ed. Westport : AVI Publishing Company, 1978. 527 p.

2. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2nd ed. St. Joseph, Michigan : ASABE, 2006. 588 p.

УДК 631.372:631.3:633.85

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ NEXAT В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Журавель Д. П.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
Дідур В. В.
Уманський національний університет

Постановка проблеми. Проблема полягає у необхідності наукового обґрунтування особливостей використання тракторів і технологічної платформи NEXAT у виробництві олійних культур та визначення умов, за яких застосування цієї техніки забезпечує підвищення ефективності технологічних процесів, зменшення експлуатаційних витрат і негативного впливу на ґрунт при забезпеченні необхідної якості виконання робіт.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз сучасних досліджень свідчить, що основними напрямами вдосконалення технологій використання NEXAT є зменшення ущільнення ґрунту за рахунок контрольованого руху, підвищення продуктивності широкозахватних агрегатів, універсалізація енергетичної платформи, цифрове керування та автоматизація технологічних процесів. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання адаптації NEXAT до конкретних технологій вирощування соняшнику, ріпаку, сої та рицини в умовах України, визначення оптимальних режимів роботи агрегатів, оцінювання питомих витрат пального та впливу системи контрольованого руху на ґрунт і врожайність. Саме це визначає необхідність подальших досліджень ефективності використання NEXAT у технологіях виробництва олійних культур [1-4].

*Мета досліджень***.** Метою досліджень є обґрунтування особливостей використання технологічної платформи NEXAT у технологіях виробництва олійних культур та оцінювання ефективності її застосування під час виконання основних технологічних операцій.

Результати досліджень. Проведений аналіз особливостей використання технологічної платформи NEXAT у виробництві олійних культур показав, що її застосування дає можливість сформувати принципово іншу організацію машинно-тракторного забезпечення порівняно з традиційною системою. Основною особливістю є використання однієї високопотужної енергетичної платформи з комплектом змінних технологічних модулів, що забезпечує виконання значної кількості операцій протягом виробничого циклу. Такий підхід дає можливість зменшити кількість самохідних машин, скоротити час на їх переміщення та підвищити коефіцієнт використання енергетичного засобу.

Встановлено, що найбільш суттєвий ефект від застосування NEXAT може бути отриманий за умови комплексного використання платформи протягом

усього сезону. При цьому технологічні операції необхідно організовувати таким чином, щоб маршрути руху машини максимально збігалися. Використання системи контрольованого руху дозволяє концентрувати проходи ходової системи на визначених технологічних коліях, зменшуючи площу поля, яка піддається повторному ущільненню. Це особливо важливо під час вирощування соняшнику, ріпаку, сої та рицини, для яких стан ґрунту безпосередньо впливає на розвиток кореневої системи та формування врожайності. Аналіз технологічних операцій показав, що значна ширина захвату робочих агрегатів NEXAT створює передумови для підвищення змінної продуктивності (Рис.1).

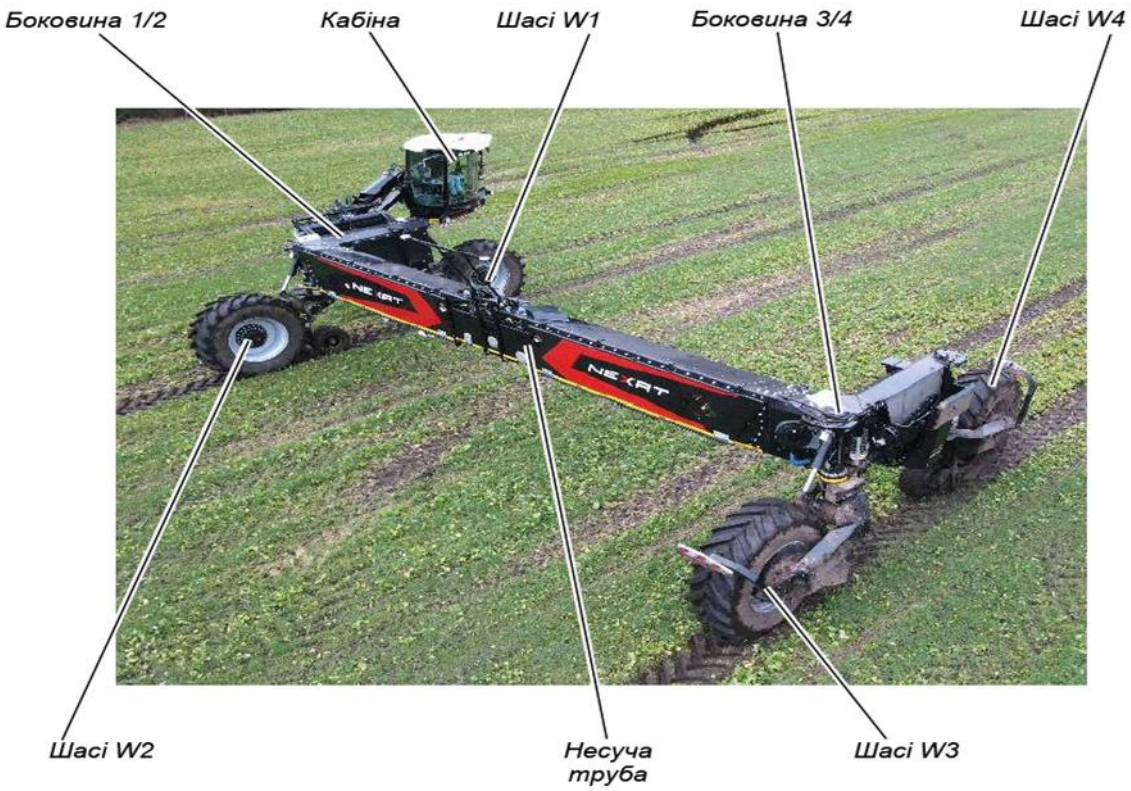


Рис.1. Загальний вигляд трактора NEXAT

Отримані результати аналізу свідчать, що збільшення ширини захвату дає змогу скоротити кількість проходів агрегату та витрати часу на оброблення заданої площі. При цьому особливого значення набуває точність автоматичного водіння, оскільки навіть незначні відхилення від заданої траєкторії при великій ширині агрегату можуть спричиняти перекриття або необроблені смуги. Під час сівби олійних культур ефективність застосування NEXAT визначається можливістю забезпечення стабільної глибини загортання насіння, заданої ширини міжрядь та рівномірності розміщення насіння. Використання навігаційних систем дозволяє забезпечити повторюваність технологічних проходів та узгодити роботу сівалки з наступними операціями. Це створює передумови для зменшення пошкодження рослин під час міжрядного догляду та формування оптимальної структури посіву. Під час внесення добрив і засобів захисту рослин широкозахватна технологія забезпечує високу продуктивність та

своєчасне виконання операцій. Для олійних культур це має особливе значення через обмежені агротехнічні строки проведення окремих заходів. Використання автоматизованого контролю робочих органів та навігації також сприяє зменшенню перекриттів і пропусків, що дозволяє раціональніше використовувати матеріальні ресурси. Важливим результатом дослідження є встановлення перспективності застосування NEXAT для збирання олійних культур. Зміна технологічного модуля дає можливість використовувати платформу для збирання сої, соняшнику, рицини та інших культур без залучення окремого енергетичного засобу. При цьому ефективність роботи залежить від відповідності збирального модуля біологічним властивостям культури, стану посіву та умовам поля. Для соняшнику першочерговим завданням є зменшення втрат насіння під час зрізування кошиків і транспортування рослинної маси, для ріпаку – мінімізація осипання насіння, для сої – зменшення втрат під час зрізування низькорозташованих бобів, а для рицини – своєчасне збирання коробочок, мінімізація втрат насіння внаслідок їх розтріскування та осипання, а також забезпечення ефективного відокремлення коробочок від стебел і очищення насіння. Встановлено також, що економічна та енергетична ефективність NEXAT повинна оцінюватися не за окремою технологічною операцією, а за результатами функціонування всієї системи виробництва. При цьому доцільно враховувати витрати пального, продуктивність, тривалість технологічних простоїв, кількість проходів по полю, витрати на технічне обслуговування та якість виконання операцій. Такий комплексний підхід дозволяє об'єктивніше визначити ефективність використання універсальної платформи порівняно з традиційними машинно-тракторними агрегатами.

Висновок. Таким чином, результати досліджень показують, що NEXAT має значний потенціал для механізації виробництва олійних культур завдяки універсальності, широкій зоні захвату, можливості використання змінних технологічних модулів, автоматизації керування та організації контрольованого руху по полю. Найбільший ефект від її застосування може бути отриманий у великих господарствах за умови комплексного використання платформи, узгодження ширини захвату всіх агрегатів та дотримання постійних технологічних колій. Водночас для умов України необхідні подальші польові дослідження з визначення фактичної продуктивності, питомих витрат пального, впливу на ґрунт та втрат урожаю під час збирання конкретних олійних культур.

Список літератури

1. Журавель Д. П., Дідур В.В. Обґрунтування технологічного процесу збирання рицини методом очісування. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції імені В. А. Дідура. «*Науково-практичні аспекти сталого розвитку малотоннажних підприємств агропромислового виробництва*» Умань: Уманський НУ, 2026. С.19-23.

2. Інструкція з експлуатації трактора NEXATNXT-140 Gen3 BA 16005-0028788-00 09.25.

3. Delgado, M.; Felix, M.; Bengoechea, C. Development of bioplastic materials: From rapeseed oil industry by products to added-value biodegradable biocomposite materials. Ind. Crops Prod. 2018, 125, 401–407.

4. Журавель Д. П., Дідур В. В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини на енергетичну біосировину: монографія. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. 275 с., іл.

УДК 631.354:621.825.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАПОБІЖНОГО ПРИСТРОЮ

Дорошенко С. В., Яценко Ю. В., Чумак М. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постанова проблеми. Актуальним питанням сьогодення в агропромисловому комплексі є проблема використання неякісних сільськогосподарських запасних частин. Наукова робота на тему “Удосконалення технологічного процесу збирання сільськогосподарських культур шляхом модернізації запобіжного пристрою ” присвячена вирішенню ряду проблем, зокрема питанню використання неякісних сільськогосподарських запасних частин, вихід з ладу яких призводить до втрати часу на збирання сільськогосподарських культур та проведення технологічного процесу.

В сучасному сільському господарстві набули широкого застосування запобіжні пристрої, які використовують при роботі різних машин та агрегатів, зокрема зернозбиральних комбайнів, таких як КЗС – 9 – 1 “Славутич”, ДОН – 1500, ЖВМ – 6, ЖКС – 4,2. Кожний із запобіжних пристроїв має свої певні недоліки, тому нами поставлено на меті вдосконалити запобіжний пристрій обертових механізмів.[1]

Мета проекту – покращення технологічного процесу збирання сільськогосподарських культур шляхом модернізації запобіжного пристрою валів обертання.

Аналіз стану питання. Існуючі запобіжні пристрої зображені на рис.1. Їх використовують при неможливості встановлення пружної муфти, коли величина та форма навантаження має випадковий характер, і привод вимагає захисту від перенавантаження. Тому виникає необхідність застосовування запобіжних пристроїв, що розмикають кінематичний ланцюг при систематичних перенавантаженнях. Існує декілька видів запобіжних пристроїв (рис.1), але всі вони мають певні недоліки, а саме: невчасне спрацювання, одноразовість використання, трудомісткість заміни тощо.

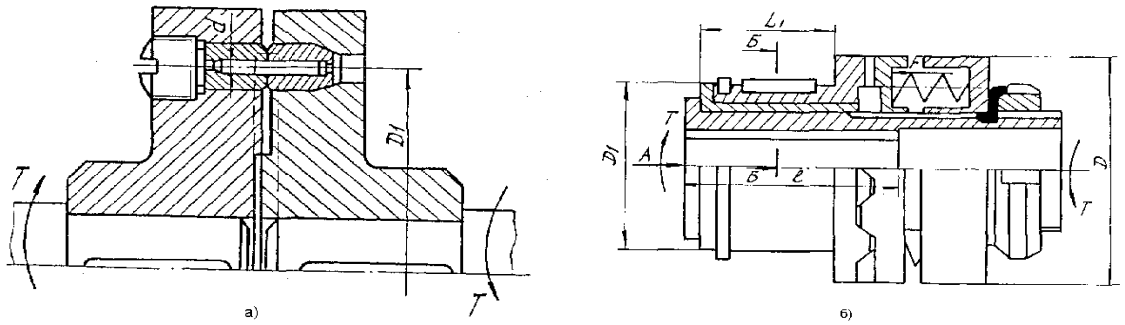


Рис.. 1. Запобіжні пристрої: а – зі зрізним штифтом; б – кулачкова муфта

Тому, нами було поставлено на меті удосконалення запобіжного пристрою зернозбирального комбайна КЗС – 9 – 1 «Славутич». Існуючий запобіжний пристрій [1,2] працює таким чином: при забиванні завантажувального шнека бункера, зернового шнека або елеватора створюється крутні моменти, що компенсуються проковзуванням зубів муфти. При цьому зірочка відсувається в бік, що призводить до зіскакування ланцюга. В результаті цього ланцюг намотується на зірочку вала верхнього контр приводу і заклинює обертання валу, що призводить до його згинання, а з іншого боку відбувається згинання кожуха зернового елеватора. В результаті чого виходить з ладу велика кількість вузлів і механізмів. В більшості випадків їх повністю замінюють, а їх ремонт під час збирання урожаю займає приблизно 7 днів, в результаті чого господарство несе дуже великі збитки.

З метою запобігання виходу з ладу (поломки) валів механізмів та захисного обладнання нами запропоновано виготовити шайбу, зовнішній діаметр якої становить 110 мм, а внутрішній співставний діаметру різьби вала. Шайба 3 (рис.2) товщиною h (не менше 6 мм), закріплена на валу 1 після зірочки 2, що не дає змоги зіскакування ланцюга 4.

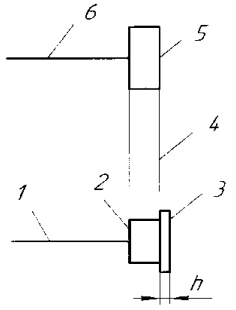


Рис.. 2. Кінематична схема передачі зірочка – муфта

Модернізований запобіжний пристрій (рис.3) складається з зірочки, яка зв’язана із шківом за допомогою хоча б одного гвинта (заклепки). Ступиця затиснута нижньою та верхньою фрикційними накладками. Причому верхня фрикційна накладка притискується до ступиці за допомогою фланця, який зв’язаний із спеціальними шайбами.

Пружини натискають на спеціальні шайби і контактують із верхніми спеціальними шайбами, переміщення яких обмежується гайками. Гайки

прикріплено на болтах, що з'єднані із зірочкою і шківом. Силу стискання пружин регулюють закручуванням гайок та контролюють динамометром.

Запобіжний пристрій (рис.3) працює наступним чином. При заклинюванні валу на його кінцях виникають крутні моменти, що компенсуються тертям фрикційних накладок по поверхні ступиці, шайби і фланця. [2]

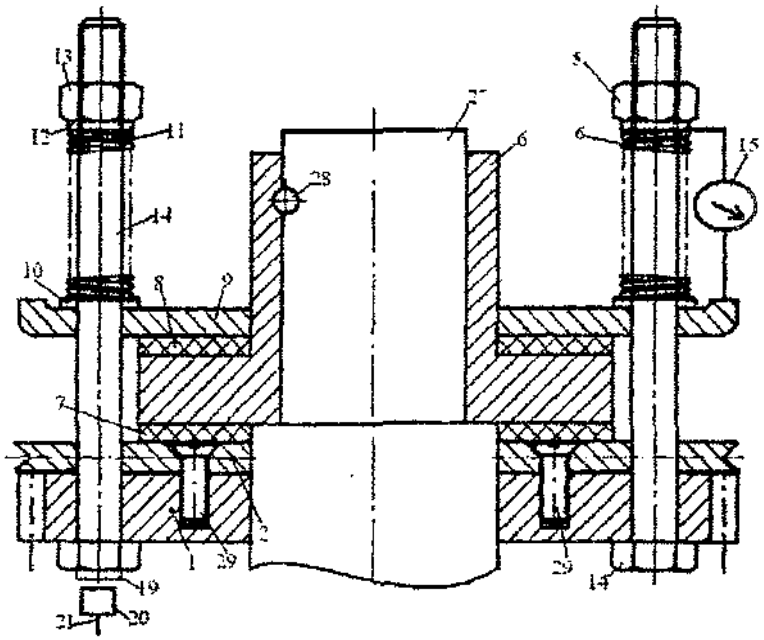


Рис. 3. Модернізований запобіжний механізм

В цей час сенсор фіксує порушення початкових умов, а на проводі виникає напруга, яка передається на контакти електричної котушки де створюється електричне магнітне поле, що замикає контакти. Утворене таким чином електричне замкнене коло (рис. 4), в яке включено електролампу чи світло діод, звуковий сигналізатор, є автоматичною світловою сигналізацією порушення початкових умов роботи запобіжного пристрою. Вимикання світлової та звукової сигналізації відбувається автоматично після початку роботи вузла чи механізму. Таким чином, відбувається запобігання викручування, згину (поломки) валу.

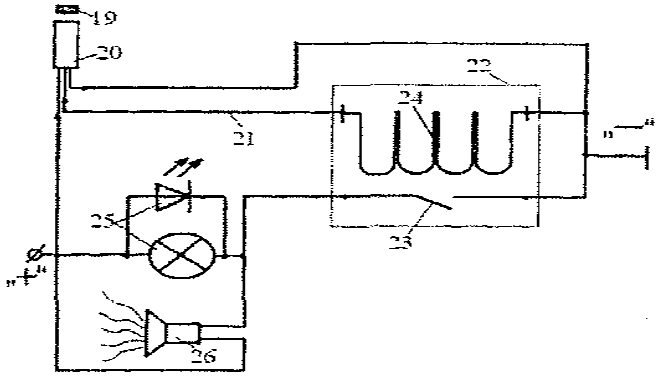


Рис..4. Електрична схема автоматичного пристрою контролю та сигналізації технологічного процесу

Розрахунок заклепочних з'єднань

*Задаючись д*іаметром заклепки $d_з$ = 12 мм, та допустимими напруженнями, маємо:

$[\sigma_{зр}]$ = 100 МПа;

$[\sigma_{зм}]$ = 320 МПа;

$[\sigma_р]$ = 160 МПа.

Розв'язання.

1. Ширину вибираємо із конструктивних умов $b = 6 \cdot d = 72$ мм.
2. Перевіряємо умову зрізу заклепок:

$$[F_{зр}] = [\sigma_{зр}] \cdot A_{зр} = 100 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot n_{зр} \cdot n_з = 100 \cdot (3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 10^{-4}) \cdot 2 \cdot 3 = 67{,}8 \text{ кН}.$$

3. Перевіряємо умову зминання заклепок:

$$[F_{зм}] = [\sigma_{зм}] \cdot A_{зм} = [\sigma_{зм}] \cdot d \cdot \delta_{зм} \cdot n_з = 320 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot 4 = 161{,}2 \text{ кН}.$$

4. Перевіряємо умову розриву металу:

$$[F_р] = [\sigma_р] \cdot A_р = [\sigma] \cdot \delta \cdot (b - n_з \cdot d) = 160 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot (7{,}2 - 2 \cdot 1{,}2) \cdot 10^{-2} = 107{,}5\ kH.$$

Висновки: Приведені розрахунки засвідчують, що запобіжний пристрій дає можливість безпечно і безаварійно проводити технологічні операції (обертання валів) та забезпечувати працездатність великої кількості вузлів, механізмів та агрегатів, продовжувати термін експлуатації деталей. Ефективність роботи вузлів і механізмів, відповідно довговічність і економічність підтверджене наступним: напруження зрізу заклепок: $[F_{зр}] = 67{,}8$ кН; напруження зминання заклепок: $[F_{зм}] = 161{,}2$ кН; напруження розриву металу: $[F_р] = 107{,}5$ кН;.

Запропоноване технічне рішення може бути використане в сільськогосподарському машинобудуванні, зокрема в запобіжних пристроях обертових механізмів та вузлів, зокрема при проведенні та дослідженні технологічних процесів, що дає можливість широкого використання його в технологічних процесах.

Список використаних джерел

1. Головчук А. Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки : підручник : у 3 кн. Кн. 3. Машини сільськогосподарські. Київ : Грамота, 2005. 576 с.

2. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин : підручник. 2-ге вид. Львів : Афіша, 2003. 560 с.

3. Заблонський К. І. Деталі машин : підручник для студентів машинобудівних спеціальностей. Одеса : Астропринт, 1999. 402 с.

4. Малащенко В. О., Янків В. В. Деталі машин : курсове проектування : навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 228 с.

УДК 631.3:331.45

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Дрожчана О.У., Бабенко Р. В.
Полтавський державний аграрний університет

Сільськогосподарська галузь належить до сфер виробництва, де питання безпеки працівників безпосередньо пов'язані з особливостями технологічних процесів і конструкцією використовуваної техніки. Робота з потужними машинно-тракторними агрегатами, причіпними та навісними знаряддями, а також виконання операцій у складних погодних умовах створюють додаткові ризики для оператора. До них належать шум, вібрація, пил, відпрацьовані гази, значне нервово-емоційне навантаження та небезпека втрати стійкості машини під час роботи на схилах або з важким обладнанням.

Тому підвищення ефективності сільськогосподарської техніки доцільно розглядати не лише через показники продуктивності, енергоємності чи якості виконання технологічної операції. Не менш важливим є створення таких умов, за яких конструкція машини від початку враховує безпеку, зручність роботи та фізіологічні можливості оператора. Саме на етапі проєктування або модернізації можна передбачити технічні рішення, здатні зменшити вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів .

Під час експлуатації машинно-тракторних агрегатів оператор одночасно виконує кілька завдань: керує рухом машини, стежить за роботою двигуна та робочих органів, контролює якість технологічного процесу і реагує на зміну умов роботи. За тривалої зміни це може супроводжуватися втомою та підвищеним психоемоційним напруженням. Додаткову небезпеку створюють обмежена оглядовість, рухомі та обертові деталі, можливе самовільне переміщення навісного обладнання, а також запиленість і загазованість робочої зони [1, 2].

З огляду на це удосконалення сільськогосподарських машин доцільно здійснювати за кількома взаємопов'язаними напрямами: конструктивним, технологічним, ергономічним, екологічним та електротехнічним. Комплексне поєднання таких заходів дає можливість переносити акцент із реагування на вже виниклу небезпечну ситуацію на її попередження.

Одним із основних напрямів є вдосконалення конструкції вузлів і систем, які безпосередньо впливають на безпеку оператора. Особливого значення набуває обладнання кабіни засобами захисту від перекидання та падіння предметів. Використання захисних каркасів ROPS і FOPS [3] підвищує рівень захищеності оператора у разі перекидання машини або потрапляння в кабіну важких предметів.

Важливим елементом є також створення ізольованого робочого простору. Герметизація кабіни, очищення повітря та застосування багатоступеневої фільтрації знижують надходження пилу та небажаних домішок до зони дихання оператора. Особливо це важливо під час виконання робіт, пов'язаних із використанням засобів захисту рослин та інших агрохімікатів. Кондиціонування і підтримання комфортного мікроклімату додатково сприяють зменшенню втомлюваності.

Окрему увагу варто приділяти боротьбі з шумом і вібрацією. Застосування амортизованих підвісок кабіни та сидіння, шумоізоляційних матеріалів і конструктивного відокремлення робочого місця від джерел коливань дає змогу зменшити механічне та акустичне навантаження на працівника. Ергономічність робочого місця при цьому визначається не окремим елементом, а узгодженістю сидіння, органів керування, інформаційних дисплеїв і зони огляду.

Сучасне робоче місце оператора передбачає можливість регулювання сидіння відповідно до його антропометричних параметрів і маси, а також зручне розташування органів керування. Використання багатофункціональних джойстиків та електронних систем керування дає можливість скоротити кількість повторюваних рухів і зробити керування більш логічним. Водночас такі рішення мають супроводжуватися зрозумілим інтерфейсом, щоб автоматизація не створювала додаткового когнітивного навантаження/

Не менш важливим залишається захист від контакту з рухомими деталями. Вали відбору потужності, пасові та ланцюгові передачі повинні бути закриті захисними кожухами. Додатковим рівнем безпеки можуть бути датчики, які сигналізують про відкриття захисного елемента або блокують роботу механізму. Для важких навісних і причіпних робочих органів доцільно застосовувати гідравлічні замки та інші пристрої, що не допускають їх самовільного опускання при пошкодженні гідросистеми [1, 2].

Другий перспективний напрям пов'язаний із використанням автоматизації та цифрових технологій. Їх застосування дає змогу зменшити кількість операцій, які працівник змушений виконувати вручну, а в окремих випадках – взагалі усунути його перебування в небезпечній зоні. Камери кругового огляду, датчики наближення та інші засоби контролю можуть використовуватися для виявлення людей і перешкод біля великогабаритної техніки.

Системи супутникової навігації та автоматичного керування рухом сприяють зменшенню монотонного навантаження під час тривалої роботи. Оператор отримує можливість більше уваги приділяти контролю технологічного процесу, технічного стану агрегату та зовнішньої обстановки. Разом із тим автоматизовані системи не скасовують необхідності професійної підготовки працівника, оскільки він має розуміти принцип їх роботи та знати порядок дій у разі відмови.

Перспективним є встановлення датчиків контролю небезпечних зон біля шнеків, валів, підбирачів та інших рухомих робочих органів. За виявлення людини такі системи можуть подавати попереджувальний сигнал або ініціювати блокування механізму. Додатково можуть застосовуватися системи контролю

стану оператора, здатні фіксувати ознаки сонливості чи втрати уваги, наприклад за зміною частоти моргання або положення голови [1,3].

Окремої уваги потребують екологічні та електробезпечні аспекти. Використання електричних або гібридних приводів у відповідних технологічних умовах може зменшити кількість шкідливих викидів у приміщеннях. Це особливо актуально для закритих виробничих об’єктів, зокрема тваринницьких комплексів і теплиць. Під час роботи з агрохімікатами доцільно переходити до закритих систем приготування робочих розчинів і заправлення машин, що зменшує ймовірність безпосереднього контакту працівника з концентрованими речовинами [1].

Зміни в конструкції та технології експлуатації можна наочно представити через порівняння традиційного і сучасного підходів до забезпечення безпеки.

Критерій безпеки	Традиційний підхід	Сучасні конструктивні та технологічні рішення
Захист від хімічних факторів	Індивідуальні засоби захисту, відкритий або недостатньо ізольований робочий простір	Герметизована кабіна, очищення та фільтрація повітря, закриті системи заправлення
Шум і вібрація	Підвищене навантаження на оператора, що сприяє втомі	Амортизація кабіни та сидіння, шумоізоляція, зниження передачі коливань
Ризик наїзду або травмування	Обмежена оглядовість і наявність сліпих зон	Камери, датчики, системи попередження та автоматичного блокування
Керування робочими органами	Значна частина операцій виконується вручну, інколи з виходом із кабіни	Керування з кабіни за допомогою гідравлічних, електронних та автоматизованих систем

Таким чином, підвищення безпеки сільськогосподарських машин має базуватися на поєднанні конструктивних, технологічних та ергономічних рішень. Захисні конструкції, безпечне розміщення органів керування, ізоляція оператора від шуму, вібрації та забрудненого повітря, автоматизований контроль небезпечних зон і дистанційне керування робочими органами створюють передумови для зниження виробничих ризиків. Важливо, що безпечність техніки доцільно закладати вже на стадії її проєктування або модернізації, а не обмежуватися організаційними заходами під час експлуатації. Такий підхід відповідає сучасному розумінню безпеки машин і водночас може сприяти підвищенню комфортності праці та ефективності аграрного виробництва.

Список використаних джерел

1. Войналович О. В., Марчишина Є. І., Білько Т. О. Охорона праці у сільському господарстві : навч. підручник. Київ : ЦУЛ, 2021. 691 с.

2. ДСТУ EN ISO 4254-1:2015. Сільськогосподарські машини. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги (EN ISO 4254-1:2015, IDT; ISO 4254-1:2013, IDT).

3. Шевченко О. М. Конструктивна безпека мобільних енергетичних засобів як фактор зниження виробничого травматизму // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2023. Вип. 291. С. 45–53.

УДК 631.354.2:631.3

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Дудник В. В., Дорошенко С. В., Кибкало В. О.
Полтавський державний аграрний університет

Ефективність зернозбирального комбайна значною мірою залежить від узгодженої роботи його робочих систем. Важливою складової, такої системи, є жатка, яка забезпечує зрізування рослин, їх підбирання та подавання. Її конструкція, технічний стан і налаштування безпосередньо впливають на якість збирання та втрати зерна [1].

Сучасні жатки поєднують різальний апарат, мотовило, транспортуючий механізм, привод і систему копіювання поверхні поля. Ефективність їх роботи залежить від відповідності конструктивних параметрів умовам збирання та правильного узгодження режимів роботи [1, 2]. Значні втрати можуть виникати через неправильне положення різального апарата, невідповідність режиму мотовила швидкості руху комбайна та складні умови хлібостою [3, 4].

Кравчук В. і Занько М. проаналізували конструкції сучасних зернових жаток та відзначили роль різального апарата, мотовила, шнека, платформи і приводних механізмів у забезпеченні технологічного процесу. Сучасні конструкції доповнюються системами копіювання рельєфу та автоматичного регулювання положення робочих органів [1]. Одним із напрямів розвитку є підвищення адаптивності жатної частини до змінних умов роботи шляхом використання гнучких різальних апаратів і систем регулювання [2].

Г. Головченко та О. Калнагуз дослідили кінематичний режим мотовила і показали необхідність узгодження частоти його обертання зі швидкістю руху комбайна. Невідповідність цих параметрів може погіршувати підведення рослин до різального апарата та збільшувати втрати зерна [3]. В. Ловейкін та співавтори розглядали конструктивні зміни мотовила жатки СКІФ-280, зокрема приводного механізму та регулювання нахилу граблин [5]. С. Смолінський встановив залежність втрат зерна за жаткою від урожайності, соломистості, забур'яненості та полеглості хлібостою [4].

У роботі проведено обґрунтування напрямів підвищення ефективності роботи жатки зернозбирального комбайна шляхом узгодження параметрів її основних робочих органів з умовами збирання.

Жатку доцільно розглядати як єдину технологічну систему, у якій робочі органи послідовно забезпечують зрізування, підведення та переміщення рослинної маси. Такий підхід дає змогу оцінювати не лише роботу окремих механізмів, а й результат їх спільної дії.

Різальний апарат повинен забезпечувати стабільне зрізування рослин на заданій висоті. На нерівному полі його положення змінюється разом із рельєфом, тому важливе значення має система копіювання. Надмірне заглиблення може спричинити потрапляння ґрунту та рослинних решток у жатку, тоді як завищена висота зрізування призводить до збільшення незрізаної частини стеблостою. Отже, точність копіювання безпосередньо пов'язана зі стабільністю висоти зрізу [1, 2].

Мотовило направляє рослини до ножа та спрямування зрізаної маси до транспортуючого механізму. Його робота залежить від швидкості руху комбайна, частоти обертання, положення та кута нахилу граблин. Узгодженість швидкісних параметрів можна характеризувати коефіцієнтом кінематичного режиму:

$$\lambda = \frac{V_{\text{м}}}{V_{\text{к}}}, \qquad (1)$$

де $V_{\text{м}}$ – окружна швидкість граблин мотовила, м/с; $V_{\text{к}}$ – поступальна швидкість комбайна, м/с.

Зі збільшенням швидкості руху режим мотовила необхідно відповідно коригувати. Надмірна окружна швидкість посилює механічний вплив граблин на колосся і може сприяти осипанню зерна, тоді як недостатня швидкість погіршує підведення рослин. Тому налаштування мотовила доцільно виконувати з урахуванням швидкості руху та стану посівів [3].

На полеглих посівах процес підведення рослин ускладнюється. Частина стебел може залишатися незрізаною або переміщуватися в напрямку, що не забезпечує їх належного захоплення. У таких умовах необхідно коригувати положення мотовила та граблин відповідно до висоти і напрямку нахилу стеблостою. Це сприяє зменшенню кількості незрізаних рослин і втрат зерна [3, 4].

Не менш важливо забезпечити рівномірне переміщення зрізаної маси по платформі жатки. Нерівномірне надходження рослин може створювати додаткові навантаження на транспортуючі механізми та погіршувати стабільність подавання. Тому конструктивні та експлуатаційні параметри жатки мають бути узгоджені між собою.

Під час роботи необхідно враховувати змінність агробіологічних характеристик посівів. Урожайність, соломистість, забур'яненість, вологість і полеглість можуть змінюватися як між полями, так і в межах однієї ділянки. За таких умов використання незмінних налаштувань може не забезпечувати однакової якості збирання. Адаптація режимів роботи жатки до фактичного стану хлібостою є важливою умовою зменшення втрат [4].

Ефективність роботи жатки доцільно оцінювати за комплексом показників: втратами зерна перед жаткою, висотою зрізування, кількістю незрізаних рослин, рівномірністю подавання маси, продуктивністю та

надійністю робочих органів. Важливим є також збереження прийнятних показників при зміні швидкості руху та умов збирання.

Отже, підвищення ефективності жатки доцільно забезпечувати комплексним узгодженням роботи різального апарата, мотовила, транспортуючого механізму та системи копіювання. Раціональне співвідношення швидкості руху комбайна, режиму мотовила і положення різального апарата створює умови для стабільного виконання технологічного процесу. При цьому конкретні налаштування мають відповідати фактичним умовам збирання.

Підвищення ефективності роботи жатки зернозбирального комбайна пов'язане з узгодженням параметрів її основних робочих органів. Стабільна висота зрізування забезпечується правильною роботою різального апарата та системи копіювання, а якість підведення рослин значною мірою залежить від режиму мотовила.

Величина втрат зерна визначається не лише технічними параметрами жатки, а й агробіологічним станом посівів. Тому налаштування робочих органів необхідно адаптувати до швидкості руху комбайна, стану хлібостою та умов збирання. Комплексний підхід до регулювання жатки створює передумові і для зменшення втрат, підвищення продуктивності та стабільності її роботи.

Список використаних джерел

1. Кравчук В., Занько М. Зернові жатки сучасних комбайнів: конструкційні особливості та експлуатаційні показники. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2019. Вип. 24(38). С. 176-185. http://dx.doi.org/ 10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-18

2. Кравчук В., Смолінський С., Занько М., Гайдай Т., Олійник О. Тенденції розвитку зернозбиральних комбайнів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. № 26(40). С. 14-29. http://dx.doi.org/ 10.31473/2305-5987-2020-1-26(40)-1

3. Головченко Г.С., Калнагуз О.М. Вплив показника кінематичного режиму на роботу мотовила жатки. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2013. Вип. 10(25). С. 76-79.

4. Смолінський С.В. Аналіз впливу агробіологічних факторів на втрати зерна жаткою зернозбирального комбайна. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2017. Вип. 258. С. 165-172.

5. Ловейкін В.С., Ляшко А.П., Матухно Н.В., Маліневський О.Д. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лютого 2019 р., м. Київ.* 2019. С. 143. https://dglib.nubip.edu.ua/handle/123456789/7056

УДК 631.3:631.17

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКОШУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РІЖУЧОГО АПАРАТУ

Дудник В. В., Кульбака Д. Р.
Полтавський державний аграрний університет

Ефективність механізованого збирання сільськогосподарських культур значною мірою визначається якістю виконання операції скошування рослинної маси. Ріжучий апарат має забезпечувати своєчасне та стабільне скошування стебел за мінімальних втрат, нерівномірності висоти зрізування і витрат енергії. Особливої актуальності дана проблема набуває при використанні високопродуктивних машин, де збільшення робочої швидкості та продуктивності повинно поєднуватися зі стабільністю технологічного процесу.

Розвиток конструкцій ріжучих апаратів відбувається у напрямі підвищення надійності, продуктивності та якості скошування рослин. О.М. Погорілець і М.С. Волянський систематизували типи безпідпірного скошування та описали розвиток робочих органів ротаційних косарок [1], що підтверджує доцільність подальшого дослідження конструктивних і кінематичних параметрів ріжучого апарата.

Дана проблема полягає у необхідності узгодження геометричних параметрів робочих органів, кінематичних режимів руху ножів і швидкості переміщення агрегату. Недостатня швидкість ножа може погіршувати процес скошування, тоді як надмірне її збільшення здатне підвищувати енергоємність, навантаження на привод та інтенсивність зношування.

Питання обґрунтування параметрів ротаційних різальних апаратів досліджували Д.Г. Кондратюк та В.П. Комаха. У роботі наведено підхід до визначення основних параметрів ріжучого апарата ротаційної косарки та розглянуто взаємозв'язок конструктивних і кінематичних характеристик процесу скошування [2].

Подальший розвиток цього напряму представлено у праці D. Kondratyka, V. Komaha, O. Tokarchuka та Y. Polievoda, де досліджено основні параметри різального апарата ротаційної косарки та їх вплив на функціонування робочого органу [3]. Отримані результати доцільно враховувати під час вибору співвідношення частоти обертання ножів і поступальної швидкості агрегату.

Сучасні дослідження підтверджують, що якість скошування залежить не лише від конструкції ножів, а й від режиму роботи апарата. А.Я. Кузьмич та М.М. Анеляк за результатами лабораторно-польових досліджень визначили діапазон кутової швидкості обертання ножів, за якого забезпечується якісне скошування стеблової маси соняшнику [4].

Окремий напрям сучасних досліджень становить аналіз конструкцій ротаційних косарок-плющилок. Д.Г. Кондратюк, О.О. Труханська та

М.О. Прядкін систематизували конструктивні рішення таких машин, звертаючи увагу на особливості робочих органів та технологічного процесу [5]. Це створює основу для вибору конструктивної схеми ріжучого апарата залежно від виду культури та умов роботи.

Важливим є також врахування поведінки стеблостою після контакту з робочим органом. В.Ф. Кузьменко досліджував переміщення стебел травостою під час скошування барабанною косаркою, зокрема процес відхилення, зрізування та подальшого транспортування стебел [6]. Таким чином, удосконалення ріжучого апарата доцільно розглядати як комплексну задачу, що охоплює не тільки безпосередній процес скошування, а й подальше переміщення скошеної маси.

Метою досліджень є підвищення ефективності технологічного процесу скошування сільськогосподарських культур шляхом обґрунтування та оптимізації конструктивних і кінематичних параметрів ріжучого апарата, що забезпечують необхідну якість скошування за раціональних енерговитрат.

Аналіз наукових праць показує, що одним із ключових критеріїв удосконалення ріжучого апарата є забезпечення необхідного співвідношення між швидкістю руху ножа та поступальною швидкістю машини. За недостатнього співвідношення можливе неповне перерізання стебел і збільшення кількості незрізаних рослин, а за надмірного – зростають динамічні навантаження та енергетичні витрати [2, 3].

Для ротаційного апарата важливим параметром є кутова швидкість обертання ножів. Дослідження скошування стебел соняшнику показали, що якісне скошування забезпечується за кутової швидкості обертання ножів у межах 105-185 $с^{-1}$ [4]. Зазначений результат може бути використаний як орієнтир під час формування експериментального діапазону режимів, однак остаточний вибір параметрів повинен здійснюватися з урахуванням виду культури, діаметра стебел, вологості та врожайності.

Конструктивна схема ріжучого апарата повинна забезпечувати стабільний контакт ножа зі стеблом і мінімізувати небажане переміщення рослинної маси до моменту зрізування. Аналіз сучасних конструкцій ротаційних косарок-плющилок свідчить про доцільність використання високошвидкісних дискових і барабанних робочих органів, конструктивні параметри яких підбираються залежно від технологічного призначення машини [5].

Важливою умовою підвищення ефективності є узгодження процесів зрізування та транспортування рослинної маси. Дослідження переміщення стебел травостою показують, що після зрізування стебла можуть взаємодіяти з поверхнею диска, переміщуватися до периферії та формувати потік зрізаної маси [6]. Тому конструкція робочого органу має забезпечувати не лише якісне зрізування, а й сприятливі умови для подальшого укладання або транспортування матеріалу.

На підставі узагальнення результатів досліджень доцільно оптимізацію параметрів ріжучого апарата проводити за комплексним критерієм, що враховує якість зрізування, висоту стерні, продуктивність, енергоємність та надійність роботи. При цьому основними керованими факторами можуть бути кутова

швидкість ножів, швидкість поступального руху агрегату, діаметр робочого органу, кількість ножів та їх геометричні характеристики [2-5].

Практичне удосконалення технологічного процесу доцільно здійснювати на основі експериментального визначення раціонального діапазону режимів. Для кожного режиму необхідно фіксувати частку незрізаних стебел, середню висоту зрізування, втрати рослинної маси, продуктивність агрегату та потужність. Такий підхід дасть змогу встановити режим, за якого досягається прийнятний компроміс між якістю роботи та енергетичними витратами.

Аналіз сучасних досліджень підтверджує, що ефективність процесу зрізування сільськогосподарських культур визначається взаємодією конструктивних і кінематичних параметрів ріжучого апарата. Найбільш суттєвими факторами є кутова швидкість ножів, поступальна швидкість агрегату, геометричні параметри робочих органів та умови взаємодії ножа зі стеблостоєм. Результати досліджень свідчать про можливість підвищення якості скошування шляхом обґрунтованого вибору режимів роботи ротаційного апарата. Зокрема, для скошування стебел соняшнику встановлено діапазон кутової швидкості ножів 105-185 $с^{-1}$. Подальше удосконалення ріжучого апарата доцільно здійснювати за комплексним критерієм, що одночасно враховує якість зрізування, продуктивність та енергоємність процесу. Отримані положення можуть бути використані для подальшого експериментального обґрунтування раціональних параметрів ріжучого апарата.

Список використаних джерел

1. Погорілець О.М., Волянський М.С. Тенденції розвитку ротаційних косарок-плющилок з глибини століть і до сьогодення. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 241. С. 187-197.

2. Кондратюк Д.Г., Комаха В.П. Визначення основних параметрів різального апарата ротаційної косарки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 77-85. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-8.

3. Kondratyk D., Komaha V., Tokarchuk O., Polievoda Y. Determination of the main parameters of the rotary mower cutting apparatus. *Colloquium-journal*. 2021. № 7 (94), Part 1. P. 65-70. DOI: 10.24412/2520-6990-2021-794-65-70.

4. Кузьмич А.Я., Анеляк М.М. Дослідження процесу скошування стебел соняшнику для використання на енергетичні цілі. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2023. Вип. 3 (117), С. 159-169. DOI: 10.37204/2786-7765-2023-3-16.

5. Кондратюк Д.Г., Труханська О.О., Прядкін М.О. Аналіз конструкцій ротаційних косарок-плющилок. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2024. № 1 (124). С. 106-114. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-12.

6. Кузьменко В. Ф. Переміщення стебел травостою в процесі скошування барабанною косаркою. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2024. Вип. 4 (118). С. 136-149. DOI: 10.37204/2786-7765-2024-1-15.

УДК 631.362

УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПОЧАТКІВ НАСІННЄВОЇ КУКУРУДЗИ

Дудник В. В.*, *Таранень Є. М.
Полтавський державний аграрний університет,
Дудник Д. В.
ВСП Полтавський політехнічний фаховий коледж Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Післязбиральна обробка насіннєвої кукурудзи передбачає виконання комплексу технологічних операцій, серед яких важливе місце займає розділення вороху початків на очищені та неочищені. Традиційні технологічні лінії, як правило, використовують ручну перебірку, що обмежує продуктивність та підвищує трудові витрати. Одним із напрямів удосконалення такого процесу є використання технічних засобів сепарації, конструктивні та режимні параметри яких враховують фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу [1, 2].

Для підвищення ефективності сортування доцільним є застосування робочої поверхні, яка забезпечить керований рух початків, а також автоматично розпізнаватиме їх стан. Такий підхід дає змогу зменшити частку ручної праці та підвищити стабільність технологічного процесу.

Питання сепарації насіннєвих матеріалів та вдосконалення конструкцій насіннєочисних машин досліджуються вітчизняними науковцями. Кирпа М.Я., Скотар С.О. та Рослик О.А. встановили вплив способів і режимів сепарування на якість насіння гібридів кукурудзи та обґрунтували необхідність урахування форми, крупності й фізико-механічних властивостей насіння під час вибору робочих органів [1].

Лук'яненко В.М., Галич І.В. та Никифоров А.О. розглянули конструкцію мехатронної вібраційної насіннєочисної машини та питання оптимізації параметрів технологічного процесу сепарації [2]. Тіщенко Л.М. і Лук’яненко В.М. запропонували математичний опис процесу сепарації насіння на похилій вібруючій неперфорованій поверхні, що підтверджує важливість кінематичних та геометричних параметрів робочої поверхні [3].

Експериментальні дослідження сепарації насіннєвої суміші на мехатронній мультиплощинній вібраційній насіннєочисній машині показали можливість отримання значної частки кондиційного матеріалу за один прохід [4]. Гусев В.А., Дударєв І.М. та Токарчук М.В. систематизували конструкції сепараторів сипких матеріалів і показали різноманітність технічних рішень для реалізації процесів розділення [5]. Дослідження Грушецького С.М. також підтверджують, що геометрія робочих органів, траєкторія руху матеріалу та режимні параметри істотно впливають на ефективність сепарації [6].

Метою досліджень є підвищення продуктивності та зниження витрат ручної праці під час сортування вороху початків насіннєвої кукурудзи шляхом оптимізації конструктивних і режимних параметрів установки з робочою поверхнею змінної кривизни та автоматичним розпізнаванням ступеня очищення початків.

Для механізації процесу запропоновано конструктивно-технологічну схему установки, у якій початки поштучно подаються на робочу поверхню, переміщуються по похилих ділянках і проходять зону автоматичного розпізнавання. Конструкція передбачає робочу поверхню змінної кривизни, що дає змогу керувати характером руху початка та його швидкістю перед моментом розділення. Такий принцип відповідає сучасному напряму розвитку технічних засобів сепарації, де ефективність процесу пов'язується з керуванням траєкторією та режимом руху матеріалу [3, 5].

Важливою характеристикою процесу є ступінь покриття початка обгортковими листками. У досліджуваній установці для розпізнавання стану початків пропонується використовувати відмінності кольорового коду поверхні зернівок та обгортки. Експериментально встановлено, що сортування починається за покриття початка обгортковими листками близько 12°, а за значення 15° і більше початки розпізнаються як неочищені. Застосування кольорового коду дає можливість автоматизувати контроль стану матеріалу.

Експериментальні дослідження показали, що за початкової швидкості перекочування початка 0,323 м/с досягнуто 99,8 % правильного розділення очищених і неочищених початків. Отриманий результат свідчить про можливість використання керованого перекочування по робочій поверхні як основи технологічного процесу сортування. Вибір режимів руху матеріалу є принципово важливим і узгоджується з результатами досліджень сепараційних машин, у яких продуктивність і якість розділення залежать від кінематичних параметрів робочого органу [2-4].

За результатами планування експерименту встановлено оптимальні умови роботи установки: початкова швидкість перекочування початка не повинна перевищувати 0,44 м/с, кут нахилу висхідної поверхні – 7,54°, а залишкове покриття початка обгортковими листками – не більше 10,1°. Аналіз поверхонь відгуку показав, що режим із початковою швидкістю 0,43 м/с і кутом нахилу висхідної поверхні 7,54° забезпечує повне виділення початків із покриттям обгортковими листками 13° і більше як неочищених.

Інженерний розрахунок показав, що за швидкості стрічки елеватора 0,44 м/с, коефіцієнта її використання 0,87, п'яти ковшів на один метр та маси початка 0,3 кг продуктивність установки становить близько 2,067 т/год. Отриманий показник характеризує технічну можливість забезпечення заданої продуктивності за обраного режиму роботи.

Практичне значення запропонованого технічного рішення полягає у можливості автоматизації розділення очищених і неочищених початків та зменшенні ручної праці. За результатами досліджень пропонована установка забезпечує розділення 99,8 % початків, підвищує продуктивність праці приблизно на 40 % та зменшує енерго- і металоємність процесу на 40-43 %.

Отримані результати відповідають загальному напряму вдосконалення технічних засобів сепарації насіннєвих матеріалів [1, 2, 5].

Аналіз технічних досліджень підтверджує доцільність удосконалення процесів сепарації насіннєвого матеріалу шляхом керування конструктивними та кінематичними параметрами робочих органів. Запропонована установка з робочою поверхнею змінної кривизни та автоматичним контролем кольорового коду забезпечує механізацію розділення очищених і неочищених початків насіннєвої кукурудзи. Експериментально встановлено можливість досягнення 99,8 % чистого розділення початків за початкової швидкості перекочування 0,323 м/с. Оптимальними умовами роботи установки є швидкість перекочування до 0,44 м/с, кут нахилу висхідної поверхні до 7,54° та залишкове покриття початка обгортковими листками не більше 10,1°.

Розрахункова продуктивність установки становить близько 2,067 т/год. Упровадження запропонованого технічного рішення дає змогу підвищити продуктивність праці приблизно на 40 % та знизити експлуатаційні витрати на 42,82 %.

Список використаних джерел

1. Кирпа М.Я., Скотар С.О., Рослик О.А. Вплив способів і режимів сепарування на посівні та врожайні властивості насіння гібридів кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2015. № 8. С. 78-81.

2. Лук'яненко В.М., Галич І.В., Никифоров А.О. Мехатронна вібраційна насіннєочисна машина. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Технічні науки. 2015. Вип. 156. С. 413-419. DOI: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_156_64

3. Тіщенко Л.М., Лук'яненко В.М. Математична модель і алгоритм обчислення при моделюванні процесу сепарації насіння на похилій вібруючій неперфорованій поверхні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2015. Вип. 158. С. 218-226. DOI: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_158_34

4. Лук'яненко В.М., Никифоров А.О., Галич І.В., Лук'яненко О.В., Петрик А.П. Сепарація насіннєвої суміші сої на мехатронній мультиплощинній вібраційній насіннєочисній машині. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2018. Вип. 190. С. 273-278.

5. Гусєв В.А., Дударєв І.М., Токарчук М.В. Огляд конструкцій сепараторів сипких матеріалів. *Сільськогосподарські машини*. 2019. Вип. 42. С. 20-28. DOI: https://doi.org/10.36910/agromash.vi42.172

6. Грушецький С.М. Дослідження сепаратора піднімаючо-сходячої дії для коренебульбозбиральних машин. *Інженерія природокористування*. 2021. № 2. С. 60-67. DOI: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2021_2_10

УДК 674.817:66.045.5

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЕЛЕТ В ЗАВЕРШАЛЬНІЙ ФАЗІ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Єременко О. І., Войналович О. В., Олексієнко Д. О.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Охолодження біопаливних гранул (пелет) – це занадто важливий етап завершальної фази виробництва твердого палива, який безпосередньо впливає на міцність, тривалість зберігання та товарний вигляд готової продукції. З гранулятора пелети виходять гарячими (температура 70–90 °С) та вологими (вологість 11–14%). У такому стані вони пластичні та легко руйнуються. Процес охолодження знижує температуру пелет до показника, що перевищує температуру навколишнього середовища не більше ніж на 3–5 °С, а вологість зменшується до 8–10%. Зазвичай процес триває від 10 до 15 хвилин і залежить від розмірів гранул, від властивостей сировини тощо [1].

Під час охолодження відбуваються такі фізико-хімічні зміни:

- кристалізація природнього полімеру – лігніну, який під дією високої температури в матриці гранулятора розм'якшується і склеює волокна біомаси, а при охолодженні застигає, забезпечуючи високу механічну міцність пелет;
- зменшення надлишкової вологи гранул під дією потоку повітря.

Дослідження процесу зовнішнього теплообміну проточних фонтануючих шарів сприяли розробці і подальшому удосконаленню апаратів безперервної дії. На рис. 1 теплообмінні труби 6 розміщені на плоскій похилій решітці 4 між щілинами 5 [2].

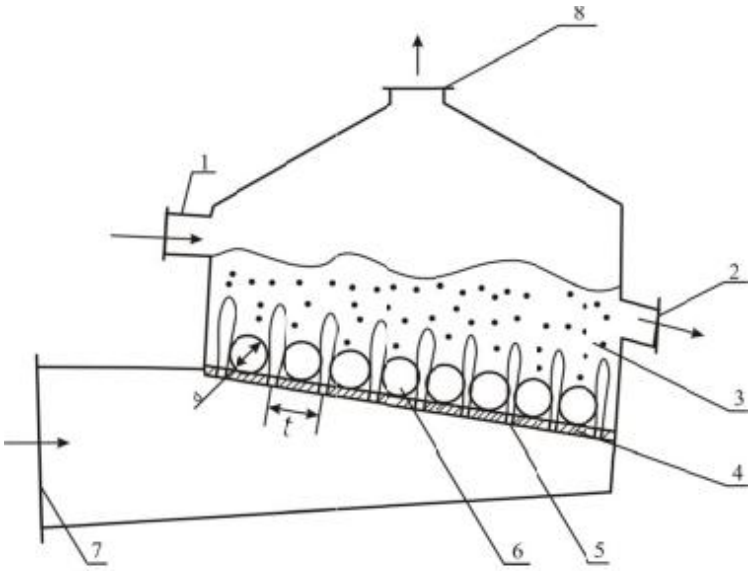


Рис. 1. Технологічна схема охолоджувача гранул з проточним фонтануючим шаром: 1 – патрубок подачі гарячих гранул; 2 – патрубок виведення охолоджених гранул; 3 – робоча прямокутна камера; 4 – розподільна решітка повітря; 5 – щілини решітки; 6 – теплообмінні труби з діаметром *d*; 7 – патрубок

введення повітря під решітку 4 з кроком щілин $t = (1,2\text{-}2)d$; 8 – патрубок виведення відпрацьованого повітря

Результати досліджень свідчать про високу інтенсивність теплообміну, зокрема 300-650 Вт/м^2*К. Діапазон швидкостей поздовжнього переміщення гранул у шарі становить 0,01-0,1 м/с. Розвинена поверхня теплообмінника і висока ефективність теплообміну дозволяє зменшити габаритні показники охолоджувача майже у два рази.

Порушення регламенту охолодження призводять до технологічного браку:

- недостатнє охолодження: якщо пелети залишаються теплими, то під час пакування, виникає ефект «термоса», зокрема волога конденсується на стінках пакування, викликаючи розмокання, плісняву та руйнування гранул;
- занадто швидке охолодження (тепловий шок) виникає при інтенсивному обдуванні гранул холодним повітрям, в них утворюються мікротріщини і вони руйнуються під час транспортування та зберігання.

У сучасних лініях гранулювання широко використовують ефективні охолоджувачі протитечійного типу(таблиця 1) [1].

Таблиця 1

Техніко-технологічні показники охолоджувачів протитечйної дії

Параметр	Характеристика процесу протиточного охолодження
Напрямок потоків	Гранули рухаються зверху вниз під дією сили тяжіння, а холодне повітря продувається вентилятором знизу вгору.
Уникнення теплового шоку	Холодне повітря діє на охолоджені гранули на виході, а тепле – на гарячі гранули на вході. Це запобігає утворенню трішин у гранулах.
Виведення вологи	Насичене вологою та теплом повітря виводиться через циклон-осаджувач, де відділяється також утворений пил.

Протитечійні охолоджувачі працюють у такий спосіб (рис. 2). Пелети подаються через гідрозатвор-живильник у охолоджувальний резервуар. Потім вони розподіляються дефлекторами або відцентровими розподільниками. Регульований датчик рівня служить для підтримки глибини пелетного шару.

Холодне повітря проходить крізь пелети вертикально та контактує з холодними пелетами. Тепле повітря рухається у протилежно напрямку падіння пелет і торкається гарячих пелет. Цей поступовий процес охолодження запобігає прямому контакту холодного повітря з гарячими пелетами та запобігає утворенню тріщин.

Охолоджені гранули вивантажуються через решітку. Датчики та пристрої забезпечують рівномірний та безперервний процес вивантаження.

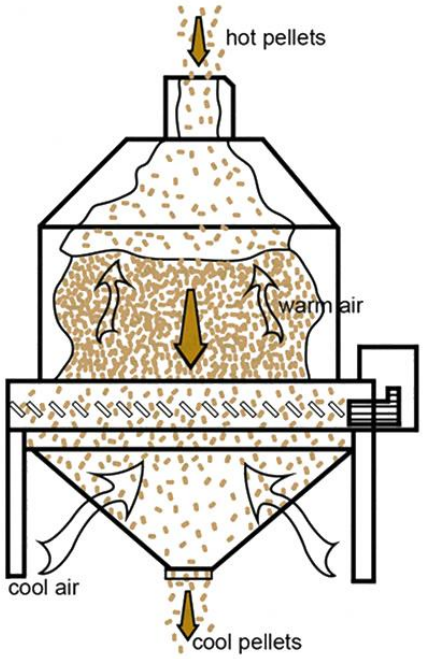


Рис. 2. Схема технологічного процесу протитечійного охолоджувача

За результатами розрахунків отримані наступні показники процесу охолодження лінії гранулювання деревної тирси з продуктивністю 700 кг/год.:

- під час охолодження пелети втрачають близько 3–5% вологи (вхідна ~13%, вихідна ~8–10%). Тобто за годину з 700 кг пелет випаровується та виводиться в атмосферу близько 25–35 літрів води у вигляді пари;
- об'єм повітря (аспірація): для охолодження 1 кг пелет потрібно приблизно 15–20 м³ повітря. При продуктивності 700 кг/год. необхідна швидкість потоку повітря вентилятора витяжки становить 11000–14000 м³/год.;
- термін витримки (релаксації): пелети повинні перебувати в зоні обдування не менше 10–15 хвилин, щоб лігнін встиг рівномірно закристалізуватися по всій товщині пелет.

Отже, проведений стислий аналіз свідчить про певні складнощі як протікання процесів охолодження біопаливних гранул, так і необхідності техніко-технологічних удосконалень цієї завершальної фази твердопаливного виробництва.

Список використаних джерел

1. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних гранул і брикетів: монографія. Київ: НУБіП України, 2021. 244 с.

2. Костюнін М., Карманов В., Михайлик В. Дослідження охолодження паливних гранул в фонтануючому шарі. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2012. Випуск № 16 (30), книга 2. С. 409-418.

УДК 631.331

СУЧАСНІ ПОСІВНІ МАШИНИ: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ

Золотовська О.В., Теслюк Г.В., Смоляков В.Г.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Посів є однією з ключових технологічних операцій у рослинництві, оскільки саме на цьому етапі формуються передумови для отримання рівномірних сходів, оптимальної густоти рослин і раціонального використання насіння. Сучасна посівна машина повинна не лише відміряти задану норму висіву, а й стабільно витримувати глибину загортання, розміщувати насіння з необхідним інтервалом, забезпечувати належний контакт насінини з ґрунтом та працювати зі сталою якістю за змінної швидкості і неоднорідних польових умов.

Підвищення робочих швидкостей, збільшення ширини захвату агрегатів і поширення технологій точного землеробства суттєво змінили вимоги до посівних машин. У конструкціях дедалі ширше застосовуються пневматичні системи транспортування насіння, електроприводи висівних апаратів, датчики проходження насіння, автоматичне відключення секцій, диференційоване внесення посівного матеріалу, супутникове позиціювання та обмін даними за протоколами ISOBUS. У результаті посівний агрегат перетворюється з суто механічної машини на мехатронну систему, здатну контролювати технологічний процес у режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні основи роботи висівних апаратів, сошникових груп і систем загортання насіння розглядаються у працях з теорії сільськогосподарських машин [1-2]. Сучасний етап розвитку посівної техніки значною мірою пов’язаний із цифровізацією та автоматизацією. Офіційні технічні матеріали виробників Väderstad, HORSCH, AMAZONE та John Deere демонструють поширення високошвидкісного точного висіву, індивідуального електричного приводу рядків, секційного контролю і систем автоматичного підтримання технологічних параметрів [3-6]. Окреме значення має стандартизація електронного обміну даними між трактором і агрегатом за ISO 11783 (ISOBUS) [7].

Мета досліджень. Узагальнити конструктивні особливості сучасних посівних машин, визначити характерні ознаки зернових сівалок, просапних сівалок точного висіву та широкозахватних посівних комплексів, а також окреслити основні напрями їх подальшого технічного розвитку.

Результати досліджень. За технологічним призначенням сучасні посівні машини доцільно розглядати у трьох основних групах: машини суцільного рядкового висіву, просапні сівалки точного висіву та комбіновані широкозахватні посівні комплекси. Відмінності між ними визначаються не лише шириною міжрядь, а насамперед способом дозування і транспортування насіння,

типом сошникової системи, рівнем автоматизації та можливістю поєднання кількох операцій за один прохід.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика сучасних посівних машин

Тип машини	Характерний висівний апарат	Ключові особливості	Типове застосування
Зернова рядкова сівалка Марки/моделі: ELVORTI ASTRA NOVA 5,4; Väderstad Rapid; HORSCH Pronto; AMAZONE Cirrus	Котушковий або пневматичний дозатор	Стабільна норма висіву; дискові сошники; контроль глибини; можливе одночасне внесення добрив	Зернові, зернобобові, дрібнонасінні культури
Просапна сівалка точного висіву Марки/моделі: ELVORTI VEGA 8 PROFI; Väderstad Tempo; HORSCH Maestro; AMAZONE Precea; John Deere ExactEmerge	Пневматичний вакуумний/надлишкового тиску	Поштучне дозування; електропривод рядків; контроль двійників і пропусків; відключення секцій	Кукурудза, соняшник, соя, цукрові буряки
Посівний комплекс Марки/моделі: ELVORTI SIRIUS-10; Väderstad Spirit; HORSCH Avatar; AMAZONE Cirrus	Централізований пневматичний дозатор	Велика ширина захвату; великий бункер; комбінування підготовки ґрунту, висіву та внесення добрив	Великі площі; мінімальний або комбінований обробіток

Машини суцільного рядкового висіву використовуються переважно для зернових і зернобобових культур. У механічних конструкціях норма висіву задається передавальним відношенням приводу і робочою довжиною котушки, тоді як у сучасних пневматичних сівалках дозатор подає насіння в повітряний потік, після чого воно розподіляється по насіннєпроводах до сошників. Важливим елементом зернових сівалок є сошникова група. Одинарні та дводискові сошники забезпечують роботу за наявності рослинних решток, а системи копіювання рельєфу і притискного зусилля сприяють витримуванню заданої глибини. У широкозахватних машинах застосовують окремі секції або паралелограмні підвіски, що зменшують вплив нерівностей поля на якість загортання насіння. Для ущільнення посівного ложа після укладання насіння використовують прикочувальні колеса або котки різного профілю.

Просапні сівалки точного висіву мають іншу технологічну задачу: кожна насінина повинна бути виділена з маси, транспортована до борозни та розміщена

з заданим кроком. Тому якість роботи оцінюється не лише нормою висіву, а й часткою пропусків, двійників та рівномірністю інтервалів у рядку. Пневматичні висівні апарати з вакуумом або надлишковим тиском стали базовим рішенням для сучасних просапних машин. У високотехнологічних комплектаціях механічний груповий привод замінюється індивідуальними електродвигунами, що дозволяє незалежно керувати кожним рядком.

Електричний привод висівних секцій створює основу для автоматичного відключення рядків на клинах і перекриттях, а також для диференційованої норми висіву за картами-завданнями. Контролер сівалки отримує дані про швидкість, положення агрегату та роботу датчиків насіння, після чого коригує частоту обертання висівних дисків. Завдяки цьому норма висіву може підтримуватися без жорсткого механічного зв’язку з опорно-приводним колесом, а оператор бачить основні параметри процесу на терміналі в кабіні трактора.

Посівні комплекси орієнтовані на високу змінну продуктивність і зменшення кількості проходів по полю. В одному агрегаті можуть поєднуватися передпосівна підготовка смуги, внесення добрив, висів і прикочування. Централізований бункер великої місткості скорочує кількість технологічних зупинок, а пневматична система дозволяє подавати матеріал до великої кількості сошників. Водночас зі збільшенням ширини захвату зростають вимоги до рівномірності розподілу насіння, копіювання рельєфу та автоматичного керування секціями.

Для сучасних машин характерна адаптація до різних систем землеробства. У традиційній технології посів виконується по підготовленому насіннєвому ложу, у мінімальному обробітку сівалка повинна стабільно працювати за більшої кількості рослинних решток, а в технологіях прямого висіву особливого значення набувають дискові ріжучі елементи, високий притиск сошника та точне підтримання глибини. Ще одним напрямом розвитку є автоматизація налаштувань. У сучасних системах оператор може з кабіни задавати норму висіву, калібрувати дозатор, контролювати заповнення бункера, спостерігати за проходженням насіння по рядках і отримувати попередження про відхилення. У машинах точного висіву розширюються функції контролю сингуляції, притискного зусилля та швидкості обертання висівних апаратів. Сучасні серійні машини Väderstad Tempo, HORSCH Maestro, AMAZONE Precea та системи точного висіву John Deere є прикладами переходу від суто механічного дозування до комплексного електронного керування окремими рядками [3-6]. Для зернового посіву аналогічна тенденція проявляється у машинах типу Väderstad Rapid, HORSCH Pronto та AMAZONE Cirrus, де поєднуються пневматичне транспортування насіння, дискові сошники, централізоване дозування і електронний контроль технологічного процесу. Конкретна комплектація залежить від моделі, ширини захвату та обраної системи землеробства.

Висновки. Сучасні посівні машини розвиваються у напрямі підвищення точності дозування, стабільності глибини, робочої швидкості та рівня

автоматизації. Для зернових сівалок визначальними є рівномірне централізоване дозування, надійна робота сошників і адаптація до рослинних решток. Для просапних машин головною вимогою залишається поштучне розміщення насіння з мінімумом пропусків і двійників. Найперспективнішими технічними рішеннями є індивідуальний електропривод висівних секцій, автоматичне відключення рядків, диференційований висів, інтеграція GNSS та ISOBUS, а також автоматичний контроль технологічних параметрів. Поєднання механічної досконалості робочих органів із цифровими системами керування формує основу подальшого розвитку посівної техніки.

Список літератури

1. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

2. Тищенко С. С., Дубровін В. О., Теслюк В. В., Волянський М. С. Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин: навч. посіб. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014.

3. Väderstad AB. Tempo - precision planter. Official product and technical information.

4. HORSCH Maschinen GmbH. Maestro - precision seeding technology. Official product information.

5. AMAZONEN-WERKE H. Dreyer SE & Co. KG. Precea and Cirrus seeding technology. Official technical information.

6. Deere & Company. ExactEmerge and precision planting systems. Official product information.

7. ISO 11783-1:2017. Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network - Part 1: General standard for mobile data communication.

УДК 631.333.92: 631.158

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ РОЗКИДАЧІВ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ТА МЕТОДИКА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Зубко В. М., Боровик О. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Органічні добрива є не лише ефективним елементом живлення під час вирощування сільськогосподарських культур, а й показником ефективності ведення аграрного господарства. Водночас постає питання ефективності використання результатів життєдіяльності тварин – навозу. Навіть якщо на гектар по масі внести однакову масу органічних добрив, якість роботи розкидача може виявитися обсолютно різною. Буває, що добриво сипиться посередині проходу, а по краях розлітається менше. Перевірка самої

лише витрати матеріалу на площу не дає відповіді на питання, наскільки рівномірно він розподілився по поверхні поля. Відповідно оцінювати якість внесення добрив слід за фактичною нормою, розподілом у поперечному й поздовжньому напрямках та робочою шириною. Для гноєрозкидачів ці показники визхначені в європейському стандарті, а саме: EN 13080 [1].

Аналіз останніх досліджень. Norman-Ham, Hanna та Richard [2] під час проведення польових досліджень ефективності використання розкидачів вивчали, як рівномірність розподілення твердого гною впоперек і вздовж проходу агрегату. Вони виявили, що робоча швидкість подачі матеріалу транспортером впливає на норму внесення, а, в залежності від фракційного складу – і на рівномірність розподілення. У рекомендаціях Університету Джорджії [3] калібрування розкидача добрив включає наступні показники: фактична норма, робоча ширина захвату та рівномірності розподілення. Penn State Extension [4] для твердої фракції гною рекомендує збирати матеріал на поверхнях відомої площі й зважувати проби. Такий підхід забезпечує налаштування машини для кожної окремої фракції за вимірюваннями, а не лише за положенням регулювальних органів.

Мета досліджень. Метою досліджень є визначити основні показники якості поверхневого внесення твердих органічних добрив, формулювання послідовності їх оцінювання під час випробування розкидача з урахуванням рельєфу місцевості, типу матеріалу і вимог до норми внесення.

Результати досліджень. Аналіз EN 13080 [1] та опублікованих методик [2–4] показує, що для оцінювання якості роботи розкидача необхідно провести замір зразу кількох показників. Основним є фактична норма внесення – це маса добрива на одиницю обробленої площі. Наступним є поперечна рівномірність розподілення маси з урахуванням перекриття сусідніх проходів. Ще один показник – це рівномірність і стабільність подавання протягом процесу внесення з урахуванням розвантаження машини. Окремо визначають робочу ширину, за якої розподіл залишається прийнятним.

Перед випробуванням фіксують тип матеріалу, його стан, вологість, температуру, насипну щільність, фракційний склад, соломистість, а також швидкість руху агрегату, траєкторію його руху, рівномірність обертання механізмів для внесення та параметри подавання. Якщо властивості матеріалів різняться, випробування проводять окремо для кожного види матеріалу за однакових умов внесення. Порівнювати норму внесення й нерівномірність без опису умов досліду не е правильним методологічним підходом. Вимоги EN 13080 [1] стосуються визначених ним випробувань із твердим гноєм; для компосту чи пташиного посліду потрібне окреме обґрунтування.

Фактична норма внесення визначається зважуванням добрива, які внесли на контрольній ділянці, та визначається її площа. Позначимо масу внесеного матеріалу через m (кг), фактичну робочу ширину внесення – через b (м), довжину контрольної ділянки – через l (м). Тоді норма:

$$N = \frac{10m}{bl}.$$

Коефіцієнт 10 переводить кг/м^2 у т/га. Отримане значення порівнюють із заданою нормою, а відносне відхилення визначають за виразом:

$$\delta = \frac{N - N_{\text{зад}}}{N_{\text{зад}}} * 100\%.$$

Ця перевірка встановлює точність дозування, водночас не показує рівномірності розподілення.

Для того, щоб визначити поперечний розподіл, у зоні проходу впоперек напрямку руху розмішують однакові лотки задоної площі. Матеріал з кожного лотка зважують, а масу відносять до площі цієї поверхні. Ваги повинні бути з точністттю до 0,01 г, оскільки маса, яка знаходиться у лотку, може бути від 0,1 до 800 г у залежності від норми внесення і виду матеріалу. За отриманими даними будують профіль рівномірності розподілу. Потім враховують прогнозоване перекриття сусідніх проходів і оцінюють реальну робочу ширину розкидання. Розкид, отриманий у точках обліку, можна виразити коефіцієнтом варіації:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100\%,$$

де s – стандартне відхилення,

$\bar{x}$ – середня питома маса зібраного матеріалу.

За однакових умов досліду чим нижчий CV, тим рівномірніший розподіл маси.

Поздовжню стабільність подавання визначають за зміною масової витрати протягом спорожнення кузова або за послідовно відібраними пробами вздовж руху. Цей замір ефективний лише за умови всьановлення вагової системи на розкидачі добрив. Варто фіксувати початковий і кінцевий періоди роботи, адже середнє значення за весь цикл може приховати зміни подавання, тобто викидання органіки шматками. Для кожного режиму зберігають первинні значення, а результати повторних проходів обробляють окремо. Без відповідних даних зробити висновок про ефективність використання конкретної машини агротехнічним вимогам і потребам господарства –неможливо.

Висновки. Для оцінювання ефективності використання розкидача твердих органічних добрив недостатньо просто встановити лише норму внесення на гектар. Необхідно також визначити рівномірність поперечного розподілу, перевірити перекриття проходів і провести контроль сталості подавання вздовж руху. Запропонований алгоритм і показники відокремлює перевірку дозування від перевірки рівномірності та дає змогу порівнювати режими роботи за однакових умов використання. Вона може слугувати основою для програми випробувань; фактичні показники конкретної машини визначають експериментально.

Список використаних джерел

1. EN 13080:2002. Agricultural machinery – Manure spreaders – Environmental protection – Requirements and test methods. European Committee for Standardization. https://www.sis.se/en/produkter/agriculture/agricultural-machines-

implements-and-equipment/storage-preparation-and-distribution-of-fertilizers/ssen13080/

2. Norman-Ham, H. A., Hanna, H. M., & Richard, T. L. (2008). Solid manure distribution by rear- and side-delivery spreaders. Transactions of the ASABE, 51(3), 831–843. https://doi.org/10.13031/2013.24521

3. University of Georgia Cooperative Extension. (2022). Calibration of Manure Spreaders. Circular 825. https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C825&title=calibration-of-manure-spreaders

4. Martin, G., & Beegle, D. (2014). Manure Spreader Calibration. Penn State Extension. https://extension.psu.edu/manure-spreader-calibration

УДК 631.3

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Івашина Ю. М., Сіренко Ю. В., Калнагуз О. М.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність механізації технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві значною мірою залежить від правильного врахування механіко-технологічних властивостей матеріалів, з якими взаємодіють робочі органи машин. Ґрунт, насіння, зерно, стеблові матеріали та інша сільськогосподарська продукція характеризуються різними фізико-механічними показниками, які визначають характер їх взаємодії з робочими органами машин під час обробітку, переміщення, сепарації, подрібнення, різання та інших технологічних операцій.

Аналіз основних досліджень. У багатьох роботах науковців систематизовано властивості сільськогосподарських матеріалів як об'єктів дії засобів механізації, наведено методики їх визначення та показано можливість використання отриманих характеристик для обґрунтування параметрів робочих органів і режимів роботи машин. Таким чином, закладено методологічну основу для встановлення зв'язку між властивостями рослинного матеріалу та параметрами технологічного процесу.

Подальший розвиток цього напряму в Україні пов'язаний із дослідженнями механіко-технологічних властивостей стебел як безпосереднього об'єкта дії робочих органів. У роботах [1 та 2] розглянуто механіко-технологічні характеристики стебел і показано їх значення для розрахунку та обґрунтування параметрів ріжучих робочих органів. Окрему увагу приділено впливу агротехнічних умов вирощування на характеристики міцності рослин. Автори пов'язують дослідження властивостей стеблового матеріалу із завданням

зниження енергоємності процесів зрізання та подрібнення. Систематичний огляд показано в роботі [3], що механічна поведінка стебел визначається одночасним впливом макроструктури, геометричних параметрів, властивостей тканин та умов навантаження. Автори проаналізували методи дво-, три- та чотириточкового згинання, осьового розтягання, стискання та втрати стійкості. Водночас зазначено відсутність повністю уніфікованих методів механічних випробувань трав'янистих стебел, що ускладнює безпосереднє порівняння результатів різних досліджень.

Дослідження механіки згинання стебел показують, що їх деформація не може розглядатися лише як проста пружна деформація балки. У роботі, присвяченій механічному аналізу згинання стебел, виділено дві послідовні стадії: овалітизацію поперечного перерізу та втрату стійкості. Встановлено вплив діаметра стебла, товщини його стінки та швидкості деформації на опір згинанню. Також показано, що серцевинно-луб'яна структура може істотно підвищувати опір згинанню. Автори підкреслюють, що для оптимізації технологічних процесів необхідно враховувати не тільки граничні характеристики руйнування, а й поведінку стебла до моменту руйнування та його взаємодію з робочими органами.

Особливо значна кількість робіт присвячена процесу різання, оскільки саме він є основою роботи косарок, жаток, кормозбиральних машин, подрібнювачів та інших машин. Однією з базових робіт є дослідження J. Prasad та C. P. Gupta, присвячене механічним властивостям стебел кукурудзи у зв'язку з процесом збирання. Авторами досліджено вплив площі поперечного перерізу та вологості стебла на силу й енергію різання, а також вплив швидкості деформації на граничну міцність при зрізуванні, енергію різання, міцність при поперечному стисканні та ударну в'язкість.

Мета дослідження. Вивчення механіко-технологічних властивостей необхідно для обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи сільськогосподарських машин та їх робочих органів під час виконання технологічних операцій. Знання фізико-механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів дає змогу визначити характер їх взаємодії з робочими органами машин, оцінити опір деформації, переміщенню, різанню, подрібненню, сепарації та іншим видам технологічного впливу. Особливого значення це набуває під час проектування та вибору машин для обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив, збирання і післязбиральної обробки врожаю.

Результати дослідження. Для стеблових культур показано, що під час взаємодії з машиною можуть послідовно відбуватися згинання, взаємне переміщення стебел, ущільнення та руйнування. При цьому сили, необхідні для згинання, можуть бути істотно меншими за сили стискання, а отже, процес попередньої деформації має враховуватися при моделюванні роботи машин.

На основі аналізу наукових праць можна виділити такі основні закономірності: механіко-технологічні властивості стебел істотно залежать від біологічних і технологічних факторів: виду та сорту культури, фази стиглості, вологості, діаметра, товщини стінки, положення по висоті рослини та швидкості

деформації; конструктивні параметри ріжучого органу безпосередньо впливають на енергоємність процесу. До найбільш значущих належать кут загострення, кут нахилу або косого різання, кут підходу, швидкість руху ножа та взаємне положення стебла і ножа. Збільшення швидкості робочого органу не завжди призводить до однозначного покращення процесу. Для окремих культур збільшення швидкості може змінювати силу та енергію різання нелінійно, тому необхідне експериментальне встановлення раціонального діапазону.

Висновок. Урахування механіко-технологічних властивостей ґрунту, насіння, зерна, стеблових матеріалів та інших сільськогосподарських матеріалів сприяє правильному вибору конструктивних параметрів робочих органів, швидкості їх руху, глибини обробітку, сили притискання та інших технологічних режимів. Це дозволяє підвищити якість виконання технологічних операцій, зменшити пошкодження насіння і продукції, знизити енергоємність процесів та експлуатаційні витрати. Крім того, дослідження таких властивостей є важливою основою для удосконалення конструкцій сільськогосподарських машин, підвищення їх продуктивності, надійності та ефективності, а також для впровадження сучасних технологій механізації, автоматизації та точного землеробства.

Список використаних джерел

1. Курило В. Л. Механіко-технологічні властивості стебел як передумова до розробки робочих органів сільськогосподарських машин і формування проектних компетентностей агроінженера [Електронний ресурс] / В. Л. Курило, В.М. Пришляк // Техніка, енергетика, транспорт АПК.. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/24793.pdf.

2. Корчак, Микола. (2024). Особливості підготовки бакалаврів при викладанні дисципліни “Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів”. International Science Journal of Education & Linguistics. 3. 7-14. 10.46299/j.isjel.20240301.02.

3. Darshil U Shah, Thomas PS Reynolds, Michael H Ramage, The strength of plants: theory and experimental methods to measure the mechanical properties of stems, Journal of Experimental Botany, Volume 68, Issue 16, 3 October 2017, Pages 4497–4516, https://doi.org/10.1093/jxb/erx245

4. Щигло Є.О., Сіренко Ю.В., Калнагуз О.М., Огляд приладів при визначенні механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів. Матеріали XXI-го міжнародного форуму молоді "МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ", Харків, Україна, 10–11 квітня. 2025 / Харків : ДБТУ, 2025. С. 70–71. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/64864/1/Tezy%20MOLOD%20I%20INDUSTRIIa%204.0V%20XXI%20STOLITTI%2010-11%20kvitnia%202025-70-71.pdf

УДК 621.793.7:631.3

ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Ісаєнко Я. О.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Робочі органи ґрунтообробних машин експлуатуються в умовах безпосереднього контакту з ґрунтом, який містить тверді мінеральні частинки та характеризується значною варіативністю фізико-механічних властивостей. Інтенсивне абразивне зношування лемешів, лап, дисків, ножів та інших робочих елементів призводить до зміни їх геометричних параметрів, погіршення якості технологічного процесу, збільшення тягового опору та передчасної заміни деталей.

Одним із перспективних напрямів підвищення ресурсу таких деталей є застосування поверхневого зміцнення без зміни основних властивостей матеріалу деталі. Серед технологій нанесення функціональних покриттів важливе місце займає дугова металізація, яка характеризується відносно високою продуктивністю нанесення, технологічною простотою та можливістю використання різноманітних металевих і композиційних дротів.

Актуальність дослідження визначається необхідністю забезпечення стабільної зносостійкості робочих органів за мінімальних витрат на їх відновлення та експлуатацію.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження зношування ґрунтообробних робочих органів показують, що абразивне зношування залишається одним із основних факторів, які обмежують ресурс деталей. Огляд сучасних досліджень підтверджує застосування різних технологій поверхневого зміцнення, зокрема наплавлення, термічного напилення, плазмового нанесення та інших методів інженерії поверхні. Особливий інтерес становлять покриття, які дають змогу підвищити зносостійкість без значного термічного впливу на основу деталі [1, 2].

Під час дугової металізації дві дротяні електродні заготовки плавляться в електричній дузі, після чого розплавлений метал диспергується потоком стисненого газу та наноситься на підготовлену поверхню. Сучасні дослідження розглядають напругу, силу струму, швидкість подачі дроту, відстань напилення, тиск і тип газу, геометрію сопла та характеристики підкладки як основні параметри, що визначають структуру й експлуатаційні властивості покриття.

У процесі формування покриття частинки металу деформуються під час удару об поверхню основи та швидко кристалізуються. У результаті формується характерна ламелярна структура. У дослідженні [3] виділено наявність пор, оксидних прошарків, частково розплавлених частинок і зон неповного контакту між ламелями як факторів, що впливають на міцність і довговічність покриття.

Таким чином, сучасний етап розвитку дугової металізації характеризується переходом від простого нанесення зносостійкого шару до керованого формування багатокомпонентної поверхневої структури із заданими характеристиками.

Мета досліджень. Метою роботи є аналіз закономірностей формування металізаційних покриттів методом дугової металізації та визначення основних технологічних і структурних факторів, що забезпечують підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Результати досліджень. Установлено, що експлуатаційні властивості дугових металізаційних покриттів формуються на декількох структурних рівнях. Перший із них пов'язаний із взаємодією покриття з матеріалом основи, другий – із характером міжчастинкових зв'язків, а третій – із формуванням поверхневого шару та його опором абразивному впливу.

Важливою особливістю дугової металізації є формування покриття із послідовно нанесених металевих ламелей. Розплавлені або частково розплавлені частинки під час зіткнення з поверхнею деформуються, заповнюють мікронерівності та формують окремі плоскі елементи. Подальше нашарування таких частинок забезпечує утворення багатошарової структури. Такий механізм формування безпосередньо пов'язаний із показниками адгезії та когезії покриття.

Адгезія визначає міцність зв'язку покриття з матеріалом основи, тоді як когезія характеризує міцність зв'язків усередині самого нанесеного шару. Для робочих органів ґрунтообробних машин обидва показники мають принципове значення, оскільки недостатня адгезія може спричинити відшарування покриття від основи, а недостатня когезійна міцність – руйнування шару безпосередньо під дією абразивних частинок.

Виявлено чотири основні механізми формування адгезійного зв'язку: механічне зачеплення частинок за мікронерівності поверхні; локальне металургійне з'єднання; фізико-хімічна взаємодія та термічні ефекти, пов'язані з різницею коефіцієнтів теплового розширення матеріалів.

Важливим технологічним етапом є підготовка поверхні деталі. Зокрема, дробоструминна обробка формує необхідну шорсткість і збільшує площу фактичного контакту між основою та першими шарами покриття. Це створює сприятливі умови для механічного зачеплення та підвищення адгезійної міцності.

Водночас збільшення шорсткості не є єдиним способом підвищення якості покриття. Необхідно забезпечувати раціональне співвідношення між параметрами підготовки поверхні та режимами напилення. Надмірне утворення оксидів, підвищена пористість або недостатня енергія частинок можуть призводити до формування слабких міжламелярних зон.

Для умов експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин особливого значення набуває ударно-абразивний характер навантаження. Тому оцінювання покриття лише за твердістю є недостатнім. Необхідно враховувати його здатність протистояти розшаруванню, тріщиноутворенню та локальному руйнуванню під час удару абразивних частинок. Саме така постановка питання

відповідає сучасним дослідженням зносостійких покриттів для ґрунтообробних машин.

Сучасні технологічні підходи передбачають використання легованих і порошково-напилених дротів, що дає можливість цілеспрямовано змінювати фазовий склад та мікроструктуру покриття. Застосування Fe-, Cr-, Mo-, B-, C- та Nb-вмісних систем може сприяти формуванню твердих зміцнювальних фаз і підвищенню опору абразивному зношуванню.

Отже, підвищення ресурсу робочих органів доцільно забезпечувати не за рахунок простого збільшення товщини покриття, а шляхом оптимізації системи «матеріал основи – підготовка поверхні – матеріал покриття – параметри напилення – умови експлуатації». Такий підхід дозволяє розглядати дугову металізацію як керований технологічний процес поверхневого інженерного зміцнення.

Висновки.

Дугова металізація є перспективним технологічним методом відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, оскільки дає змогу формувати функціональний поверхневий шар без необхідності зміни основного об'єму матеріалу деталі.

Експлуатаційні характеристики металізаційного покриття визначаються його ламелярною структурою, пористістю, вмістом оксидних включень, характером міжчастинкових зв'язків, а також адгезійною і когезійною міцністю. Ці особливості підтверджуються як матеріалами досліджуваної роботи, так і сучасними публікаціями.

Для робочих органів ґрунтообробних машин основним критерієм ефективності покриття повинна бути не лише його твердість, а комплексна стійкість до абразивного та ударно-абразивного зношування, включаючи опір розтріскуванню й розшаруванню.

Визначальними технологічними чинниками є підготовка поверхні, параметри електричної дуги, швидкість подачі дроту, тиск і тип розпилювального газу, відстань напилення та властивості матеріалу дроту. Сучасні дослідження підтверджують можливість оптимізації цих параметрів для зниження пористості та підвищення механічних характеристик покриття.

Список використаних джерел

1. Malvajerdi A. S., Shafeiri M., Tehrani M. M. Wear and coating of tillage tools: A review. *Journal of Ground & Tillage Research*. 2023. Vol. 11. P. 1–23.

2. Dudnikov A., Gorbenko O., Kelemesh A., Drozhchana O. Improving the technological process of restoring the tillage machine working parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2, No. 1 (104). P. 72–77.

3. Microstructure and wear mechanism of FeCrMoCBWNb coating deposited by arc-spraying and its application on 65Mn steel blades. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 492. Article 131195. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.131195.

УДК 631.879:621.926

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ ТА ЯКІСТЬ ГОТОВОГО КОМПОСТУ

Келемеш А. О., Ляшенко С. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Одним із актуальних завдань сучасного природокористування є забезпечення ефективної переробки органічних відходів із максимальним поверненням їх ресурсного потенціалу в агроекосистеми. Значна частина побутових та сільськогосподарських відходів представлена біорозкладними матеріалами, до яких належать рослинні рештки, листя, трава, гілки, харчові відходи, деревна сировина та інші органічні компоненти. Їх накопичення без належної переробки призводить до втрати цінної органічної речовини та створює додаткове навантаження на довкілля.

Одним із перспективних способів утилізації органічної складової відходів є компостування – керований біотехнологічний процес аеробної трансформації органічної речовини під дією мікробіологічної активності. Кінцевим продуктом такого перетворення є стабілізований органічний матеріал, який може використовуватися для поліпшення агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів [1].

Результативність компостування залежить від вологості сировини, співвідношення вуглецю та азоту, температури, концентрації кисню, пористості компостної маси та активності мікроорганізмів. Водночас важливим, але недостатньо врахованим чинником є фракційний склад органічної сировини. Великі частинки мають обмежену площу контакту з мікроорганізмами та повільніше піддаються біологічному розкладанню. З іншого боку, надмірне подрібнення може спричинити ущільнення компостної маси, зменшення її пористості та погіршення повітрообміну.

Отже, встановлення раціонального ступеня подрібнення органічних відходів є важливим завданням, спрямованим на підвищення інтенсивності компостування, скорочення тривалості технологічного циклу та отримання компосту з прогнозованими властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механічне подрібнення є однією з основних операцій попередньої підготовки органічної сировини до біологічної переробки. Його застосування дозволяє зменшити геометричні розміри частинок, підвищити однорідність матеріалу та збільшити питому поверхню органічної речовини. У результаті створюються сприятливіші умови для взаємодії субстрату з мікроорганізмами та прискорення біохімічних процесів [2].

Для подрібнення відходів застосовують різні конструктивні типи машин, вибір яких залежить від фізико-механічних властивостей сировини, її вологості, початкового розміру та необхідної кінцевої фракції. У технологічних лініях можуть використовуватися щокові, конусні, валкові, роторні, молоткові та

ножові подрібнювачі. Для рослинних решток і деревної сировини особливо перспективними є машини різального та ударно-різального типу, які здатні ефективно обробляти волокнисті матеріали [3,4].

За величиною отриманої фракції розрізняють крупне, середнє, дрібне та тонке подрібнення. Крупне подрібнення передбачає отримання частинок орієнтовним розміром 1000-200 мм, середнє – 250-50 мм, дрібне – 50-20 мм, а тонке – 20-3 мм. Для спеціалізованих технологічних процесів можливе отримання значно дрібніших частинок. Вибір необхідного ступеня дисперсності повинен здійснюватися з урахуванням призначення отриманого матеріалу та подальшої технологічної операції [5].

Подрібнення супроводжується значними витратами механічної енергії, оскільки руйнування матеріалу потребує подолання внутрішніх сил зчеплення та деформації його структури. Зі збільшенням ступеня подрібнення зростає площа новоутвореної поверхні, але водночас підвищується енергоємність процесу. Тому максимальне зменшення розмірів частинок не завжди є технологічно та економічно доцільним.

Для компостування особливого значення набуває взаємозв'язок між гранулометричним складом сировини та її здатністю забезпечувати необхідну аерацію. Великофракційний матеріал сприяє формуванню пористої структури, однак повільніше розкладається через меншу площу контакту. Дрібнодисперсна сировина, навпаки, швидше залучається до мікробіологічного розкладання, але за надмірної концентрації може ущільнюватися та обмежувати надходження кисню [6,7].

Таким чином, оптимальна структура компостної маси повинна формуватися шляхом поєднання частинок різної крупності. Грубі фракції забезпечують структурність і повітропроникність, а дрібні – підвищують доступність органічного субстрату для мікроорганізмів. Це свідчить про необхідність обґрунтування не максимального, а раціонального ступеня подрібнення органічної сировини.

Мета. Метою досліджень є визначення впливу ступеня подрібнення органічної сировини на інтенсивність процесу компостування, умови аерації та формування якісних характеристик готового компосту з одночасним обґрунтуванням раціональної крупності частинок з урахуванням енергетичних витрат на їх механічну підготовку.

Результати досліджень. Аналіз технологічного процесу свідчить, що попереднє подрібнення органічної сировини суттєво змінює умови подальшого біологічного перетворення. Зменшення геометричних розмірів частинок супроводжується збільшенням їх питомої поверхні, унаслідок чого підвищується доступність органічного субстрату для бактерій, грибів та актиноміцетів. Це створює передумови для активізації процесів біодеструкції та прискорення розкладання легкодоступних органічних сполук.

Подрібнення також забезпечує більш рівномірний розподіл компонентів під час формування компостної суміші. Завдяки цьому покращуються умови тепло- та вологообміну, а температурне поле компостної маси стає більш стабільним. За оптимального фракційного складу зменшується ймовірність

виникнення локальних зон із надлишковою вологістю або недостатнім доступом кисню.

Одним із найбільш важливих ефектів подрібнення є прискорення аеробної біодеструкції. Достатній доступ кисню забезпечує активну життєдіяльність аеробних мікроорганізмів, які здійснюють послідовне перетворення органічних речовин. У результаті інтенсифікується виділення тепла, швидше проходять активні фази компостування та скорочується період стабілізації органічної маси.

Разом із тим встановлено, що збільшення ступеня дисперсності має певні технологічні обмеження. Надмірно дрібний матеріал може зменшувати пористість компостної суміші, підвищувати її схильність до ущільнення та погіршувати природний газообмін. За недостатньої аерації можуть виникати анаеробні ділянки, що негативно впливають на швидкість і якість біологічної переробки.

Тому оптимальний ступінь подрібнення необхідно визначати як компроміс між збільшенням площі контакту органічного матеріалу з мікроорганізмами та збереженням достатньої структурної пористості компостної маси. Для цього доцільно використовувати комбінований фракційний склад, у якому дрібні частинки виконують функцію легкодоступного біологічного субстрату, а більші – формують структурний каркас компостної маси.

Важливим критерієм вибору ступеня подрібнення є також його енергетична доцільність. Із підвищенням дисперсності матеріалу питомі витрати енергії на подрібнення зростають. Тому подальше зменшення частинок виправдане лише тоді, коли отриманий приріст інтенсивності компостування компенсує додаткові енергетичні витрати. Раціональний режим роботи подрібнювача повинен забезпечувати необхідну якість фракції при мінімальній питомій енергоємності процесу.

На ефективність механічної підготовки також впливають конструкція робочих органів, частота їх обертання, продуктивність машини, вологість сировини, початковий розмір матеріалу та технічний стан подрібнювача. Зношування ножів, молотків або інших робочих елементів призводить до зниження якості подрібнення, збільшення енерговитрат і зменшення продуктивності обладнання.

Для органічної складової твердих побутових відходів характерна значна неоднорідність. Вона може містити харчові залишки, рослинні матеріали, деревину, папір, картон та інші компоненти, що суттєво відрізняються за міцністю, вологістю та здатністю до руйнування. Тому вибір подрібнювального обладнання повинен здійснюватися з урахуванням конкретного складу сировини.

Отриманий після подрібнення матеріал доцільно використовувати для формування компостної суміші з оптимальним співвідношенням вуглецевмісних і азотовмісних компонентів. За правильно сформованої структури компостної маси забезпечуються необхідна пористість, доступ кисню та рівномірний розподіл вологи. Це сприяє активізації мікробіологічних процесів та формуванню стабільного кінцевого продукту.

Якість готового компосту повинна оцінюватися за комплексом агрохімічних і фізико-хімічних показників. До основних характеристик належать вологість, кислотність, вміст органічної речовини, макроелементів, ступінь стабілізації та інші показники, що визначають можливість його використання як органічного добрива або ґрунтополіпшувача. Основні показники якості компосту наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Агрохімічні та фізико-хімічні показники компосту

Назва показника	Норма
Вміст фракції крупніше ніж 50 мм, на суху речовину, % не більше	2
Масова частка органічної речовини, на сухий продукт, % не більше	40
Вологість, %	20 – 80
Реакція середовища, pH	6,5 - 8,0
Масова частка поживних речовин, на сухий продукт, % не менше: Азот (N) загальний Фосфор (P2O5) загальний Калій (K2O5) загальний	 1,5 1,8 0,1

Застосування зрілого компосту в сільському та лісовому господарстві, озелененні й рекультивації земель дозволяє повернути органічну речовину до природного кругообігу. Внесення компосту сприяє покращенню структури ґрунту, підвищенню його вологоутримувальної здатності та збільшенню вмісту органічної речовини.

Отже, механічне подрібнення є не лише підготовчою операцією, а одним із факторів керування подальшим біологічним процесом. Раціонально підібрана крупність частинок дозволяє одночасно підвищити доступність органічного субстрату, забезпечити належну аерацію компостної маси та обмежити необґрунтоване зростання енергетичних витрат..

Висновки. Встановлено, що ступінь подрібнення органічної сировини є важливим технологічним фактором, який визначає площу контакту матеріалу з мікроорганізмами, інтенсивність біодеструкції та тривалість процесу компостування.

Попереднє механічне подрібнення рослинних решток, листя, трави, гілок та інших біорозкладних компонентів сприяє підвищенню однорідності компостної суміші, покращенню тепло- і вологообміну та активізації аеробних процесів.

Надмірне зменшення розмірів частинок може погіршувати пористість і повітропроникність компостної маси, тому оптимальним є такий ступінь подрібнення, за якого забезпечується баланс між високою питомою поверхнею органічної речовини та необхідною аерацією.

Ефективність процесу подрібнення визначається не лише якістю отриманої фракції, а й питомими енергетичними витратами. Подальше зменшення розмірів частинок доцільне лише за умови, що приріст інтенсивності компостування компенсує додаткову енергоємність механічної підготовки.

Раціональне поєднання фракцій різної крупності дозволяє сформувати структурно стабільну компостну масу, у якій забезпечуються необхідна пористість, доступ кисню та рівномірний розподіл вологи.

Оптимізація параметрів подрібнення створює передумови для скорочення тривалості біологічної переробки органічних відходів та отримання стабілізованого компосту з придатними агрохімічними властивостями.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальне встановлення оптимального діапазону крупності різних видів органічної сировини з одночасним визначенням продуктивності подрібнювача, питомих енерговитрат, швидкості компостування та якісних показників кінцевого продукту.

Список використаних джерел

1. Душкін С. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» (для студентів 2, 5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601 (7.06010808) «Водопостачання та водовідведення») / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 86 с.

2. Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata. WHAT A WASTE. A Global Review of Solid Waste Management. March 2012, No. 15 - 98 p.

3. Gorbenko, O., Lyashenko, S., Kelemesh, A., Padaka, V., Kalinichenko, A. Waste Usage as Secondary Resources. Procedia Environmental Science, Engineering and Management 2021. 8(2), с. 417-429 (Scopus) http://procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no2/13_45_Gorbenko_21.pdf.

4. Lyashenko S.; Gorbenko O.; Kelemesh A.; Kalinichenko A.; Stebila J.; Patyka V. Non-Waste Technology for Utilization of Tree Branches. Appl. Sci. 2022, 12, 8871. https://doi.org/10.3390/app12178871. file:///D:/Users/User/Downloads/applsci-12-08871.pdf.

5. Петрук В.Г. Управління та поводження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів: навчальний посібник. В.Г. Петрук, І.В. Васильківський, В.А. Іщенко, Р.В. Петрук. Вінниця: ВНТУ, 2016. 233 с.

6. 9. Хоменко І. О., Бабаченко Л. В., Падій Я. В. Проблеми та напрями переробки твердих побутових відходів в Україні. Економіка та суспільство, 2017 (12), 454-458.

7. Сталінська І. В. Технології переробки та утилізації відходів : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища / І. В. Сталінська, О. В. Хандогіна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 152 с.

УДК 631.313.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПРУЖИННОГО ЗУБА ШТРИГЕЛЬНОЇ БОРОНИ НА ЯКІСТЬ ПІСЛЯСХОДОВОГО БОРОНУВАННЯ

Келемеш А. О., Подоба О. С., Сьомкін В. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Боронування є одним із важливих технологічних прийомів поверхневого обробітку ґрунту, який застосовують для закриття вологи, руйнування ґрунтової кірки, розпушування верхнього шару ґрунту та механічного знищення бур'янів. Особливе значення має застосування штригельних борін із пружинними робочими органами під час догляду за посівами сільськогосподарських культур, оскільки така конструкція забезпечує можливість роботи безпосередньо по сходах рослин.

Разом із тим використання пружинних робочих органів має певні недоліки. Під час руху зуб здійснює коливання, зокрема у поперечній площині, внаслідок чого змінюються умови його взаємодії з ґрунтом та рослинами. Значні поперечні відхилення нижньої частини зуба можуть призводити до нерівномірності обробітку та підвищення травмованості культур під час післясходового боронування.

Тому актуальним є вдосконалення конструкції пружинного робочого органу штригельної борони шляхом зміни геометричної форми його робочої частини. Запропонований підхід передбачає виконання робочої частини зуба вигнутою у поздовжньо-вертикальній площині з певним радіусом кривизни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання механізації обробітку ґрунту, конструкції та експлуатації сільськогосподарських машин розглянуто у працях [1-5]. Штригельна борона призначена для поверхневого обробітку ґрунту та рівномірного розподілу пожнивних решток після збирання сільськогосподарських культур. Робочі зуби забезпечують розосередження рослинних решток і підготовку поля до виконання наступних технологічних операцій. Машина також може застосовуватися для поверхневого лущення стерні, передпосівної підготовки ґрунту, сівби проміжних культур, весняного розкриття та прогрівання ґрунту, а також аерації пасовищ і посівів.

Штригельні борони з пружинними робочими органами мають переваги порівняно з жорсткими зубовими робочими органами, однак їхня робота супроводжується поперечними коливаннями нижньої частини зуба. Це обмежує технологічні можливості агрегату під час обробки посівів та може збільшувати пошкоджуваність рослин.

У зв'язку з цим у дослідженні запропоновано робочий орган, що складається з монтажної, стрижневої та вигнутої робочої частин. Робоча частина виконана з радіусом кривизни, який визначає площу взаємодії зуба з ґрунтом та характер його переміщення під час роботи. Експериментально досліджували

прямий зуб, вигнутий зуб, а також робочі органи з радіусами кривизни 30 та 60 мм.

Мета. Метою роботи є підвищення технологічної ефективності роботи штригельної борони для весняного закриття вологи та післясходового обробітку шляхом обґрунтування раціональної геометричної форми пружинного робочого органу.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз впливу конструктивних параметрів пружинного зуба на технологічний процес, виконано теоретичне та лабораторне моделювання його роботи, визначено вплив радіуса кривизни робочої частини на площу взаємодії з ґрунтом і оцінено практичну та економічну ефективність запропонованої конструкції.

Результати досліджень. Для проведення досліджень у лабораторних умовах було виготовлено установку, на якій фіксували досліджуваний пружинний зуб та імітували його роботу в ґрунті. Нижня частина установки передбачала розміщення ящика з ґрунтом, а до стрижня робочого органу кріпився електронний динамометр для визначення зусилля. Досліджувалися зуби різної геометричної форми: прямий, вигнутий, із радіусом кривизни робочої частини 30 мм та 60 мм.

Одним із критеріїв оцінювання ефективності запропонованої геометрії було визначення площі проекції робочої частини зуба у вертикально-поперечній площині залежно від кута його відхилення. Результати розрахунків наведено на рис. 1.

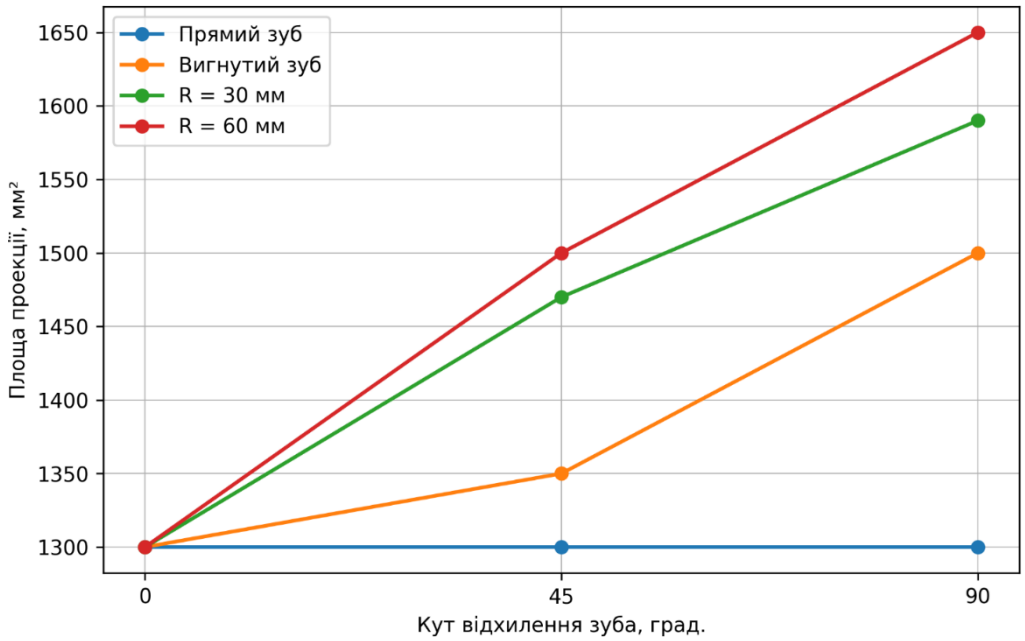


Рис. 1. Залежність площі проекції боронування від кута відхилення зуба для різної геометрії робочого органу

Як видно з наведених даних, при відхиленні робочого органу на 45° площа проекції для зуба з радіусом кривизни 60 мм становить 1500 мм², що на 15,4% більше порівняно із зубом радіусом 30 мм та на 15,4% більше порівняно з вигнутим зубом без заданого радіуса. При відхиленні на 90° цей показник для

R=60 мм досягає 1650 мм², тоді як для прямого зуба залишається на рівні 1300 мм². Саме робочий орган із радіусом кривизни 60 мм має найбільшу площу проекції.

Отримані результати свідчать про те, що збільшення площі контакту робочої частини зуба з ґрунтом сприяє стабілізації його переміщення у поперечній площині. У дослідженнях встановлено, що відхилення зуба в поперечній площині залежить від діаметра кривизни, який визначає площу контакту робочого органу з ґрунтом.

Окремо проведено моделювання силових параметрів запропонованого робочого органу. Для зуба з радіусом кривизни *R*=60 мм встановлено, що при його відхиленні від вертикалі до 50 мм у поперечній площині без додаткового заглиблення робочої частини зусилля становить 177 Н. При зануренні вигнутої частини зуба в ґрунт, що збільшує площу взаємодії робочого органу із середовищем, зусилля зростає до 355 Н.

Збільшення сили взаємодії в цьому випадку пов’язане зі збільшенням площі контакту зуба з ґрунтом. За результатами моделювання встановлено, що така конструкція дозволяє зменшити коливання робочого органу у поперечній площині, що є особливо важливим під час обробки незміцнілих рослин.

Практична ефективність запропонованої конструкції оцінювалася також за показником пошкоджуваності озимих культур. Результати порівняння наведено на рис. 2.

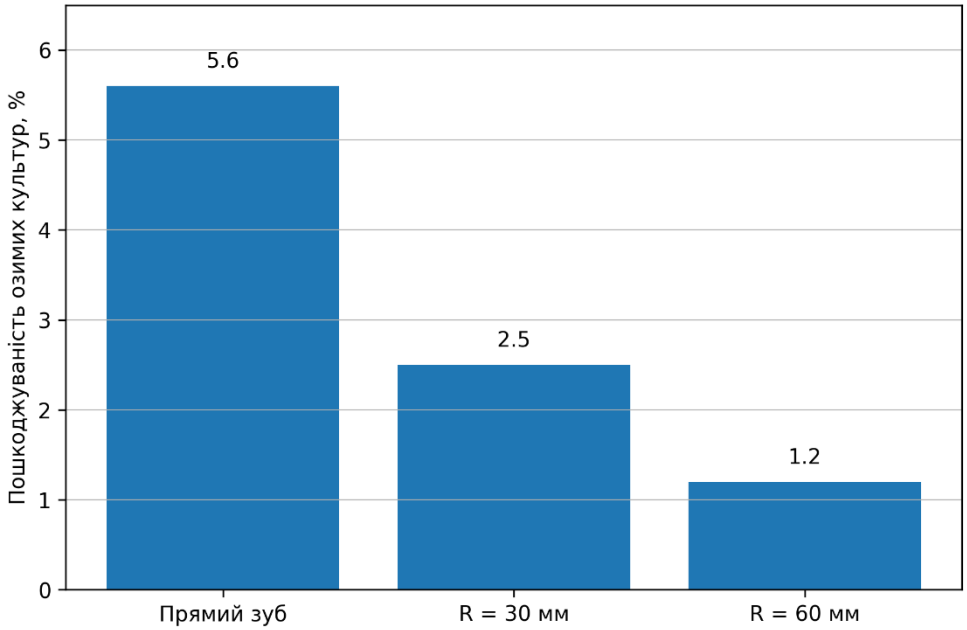


Рис. 2. Пошкоджуваність озимих культур залежно від форми пружинного зуба

Використання вигнутої робочої частини забезпечило суттєве зменшення пошкоджуваності культури. Для зуба з радіусом кривизни 60 мм цей показник становив лише 1,2%, тоді як для базового прямого зуба – 5,6%. Таким чином, абсолютне зниження пошкоджуваності становило 4,4%, а відносно базового варіанта пошкоджуваність зменшилася приблизно на 78,6%.

Отримані результати дозволили рекомендувати для робочої частини пружинного зуба радіус кривизни до 60 мм у зоні стабілізації його руху при можливому відхиленні 10-20 мм.

Практична ефективність запропонованого рішення підтверджується також техніко-економічними розрахунками. Застосування зігнутих пружинних зубів зменшує пошкоджуваність культури, що дає можливість знизити витрату насіннєвого матеріалу з 200 до 191 кг/га.

Незважаючи на додаткові витрати, пов’язані з виготовленням нових робочих органів, економічний ефект забезпечується зменшенням витрат на насіннєвий матеріал. Розрахункова окупність пружинних зубів із вигнутою робочою частиною радіусом 60 мм становить 530 га обробленої площі.

Висновки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили доцільність удосконалення пружинного робочого органу штригельної борони шляхом виконання його робочої частини вигнутою у поздовжньо-вертикальній площині.

Встановлено, що збільшення радіуса кривизни робочої частини до 60 мм сприяє збільшенню площі її проекції при поперечному відхиленні та стабілізації руху зуба. Найбільша площа проекції 1650 мм² отримана для R = 60 мм при відхиленні 90°.

Застосування запропонованого зуба дозволило знизити пошкоджуваність озимих культур із 5,6 до 1,2 %, що підтверджує його технологічну перевагу під час післясходового боронування. Економічні розрахунки показали зниження витрати насіння з 200 до 191 кг/га, збільшення прибутку з 1 га та розрахункову окупність конструкції після обробки 530 га.

Отже, використання пружинного зуба з вигнутою робочою частиною та радіусом кривизни 60 мм є перспективним напрямом підвищення технологічної ефективності штригельної борони під час весняного закриття вологи та післясходового обробітку посівів.

Список використаних джерел

1. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Кувачов В. П. Використання техніки в агропромисловому комплексі. Олді+, 2020. 220 с.

2. Марченко В. Механізація та технології обробітку ґрунту. Agroexpert, 2019. 200 с.

3. Примак І. Механічний обробіток ґрунту. Нілан, 2019. 428 с.

4. Скрипник В. Розробка, виробництво, конструктивні особливості нової сільськогосподарської техніки : навч. посіб. Київ : Літера ЛТД, 2019. 256 с.

5. Хісамудінов М. О., Тесленко О. В. Місце борони зубової пружинної LIRA XL-21 в технології обробітку ґрунту. Міжнародна науково-практична конференція «AutoTRAK-2023. Explore»: матер. міжнар. наук.-практ. конф, 26-27 жовтня 2023 р. Київ: НУБіП України, 2023. С. 121-123.

УДК 631.313.3

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖИННОГО ЗУБА ШТРИГЕЛЬНОЇ БОРОНИ ПРИ ЙОГО ПОПЕРЕЧНОМУ ВІДХИЛЕННІ

Келемеш А. О., Федотченко П. Ю., Чебан Е. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Штригельні борони широко застосовують для поверхневого обробітку ґрунту, закриття вологи, руйнування ґрунтової кірки та механічного знищення молодих бур'янів. Основним робочим органом таких машин є пружинний зуб, характер переміщення якого значною мірою визначає стабільність технологічного процесу та якість обробітку.

Під час роботи пружинний зуб взаємодіє з ґрунтом і під дією сил опору може відхилятися від початкового положення. Поперечні переміщення робочої частини зуба призводять до зміни площі її контакту з ґрунтом, характеру навантаження та траєкторії руху. Надмірні поперечні коливання можуть спричиняти нерівномірність обробітку та збільшувати ймовірність пошкодження культурних рослин.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження силових параметрів пружинного зуба та встановлення характеру зміни навантаження залежно від величини його поперечного відхилення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструктивні параметри робочих органів ґрунтообробних машин істотно впливають на характер їх взаємодії з ґрунтом та стабільність технологічного процесу. Українські дослідження розглядають питання конструкції зубів борін, їх виготовлення та експлуатаційних властивостей. Зокрема, Булига Ю. В. та Лавренко Р. О. досліджували конструкцію зубів борони та технологічні особливості їх виготовлення у матеріалах науково-технічної конференції ВНТУ.

Сучасні дослідження в галузі агроінженерії також спрямовані на експериментальне моделювання взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин із ґрунтовим середовищем. У ПДАУ запропоновано лабораторну установку для фізичного моделювання динаміки взаємодії робочих органів із пористим середовищем із можливістю використання тензометричних вимірювань.

Окремим напрямом є дослідження надійності та довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, оскільки конструктивні та експлуатаційні параметри впливають на характер навантаження робочих елементів.

Разом з тим потребує подальшого дослідження характер силової взаємодії саме вигнутого пружинного зуба штригельної борони при його поперечному відхиленні.

Мета. Метою роботи є визначення силових параметрів пружинного зуба штригельної борони з вигнутою робочою частиною при його поперечному відхиленні та оцінювання впливу заглиблення вигнутої частини зуба на величину навантаження.

Результати досліджень. Дослідження виконували з використанням експериментального пружинного зуба, робоча частина якого має вигнуту форму з радіусом кривизни R = 60 мм. Така конструкція передбачає формування вигнутої робочої ділянки в поздовжньо-вертикальній площині.

Для дослідження силової взаємодії моделювали відхилення робочого органу від вертикального положення в поперечній площині. Визначали характер розподілу навантаження по довжині зуба в стрижневій та робочій частинах.

Встановлено, що при поперечному відхиленні зуба до 50 мм без додаткового заглиблення його вигнутої частини зусилля становило 177 Н. У разі заглиблення вигнутої частини зуба в ґрунт для збільшення площі взаємодії робочого органу із ґрунтом величина зусилля зростала до 355 Н. Таким чином, збільшення площі контакту робочої частини з ґрунтом супроводжується істотним підвищенням силового навантаження.

Результати моделювання свідчать, що навантаження по довжині пружинного зуба розподіляється нерівномірно та змінюється залежно від величини його поперечного відхилення. Для відхилень 10, 30 та 50 мм досліджували варіанти навантаження 90, 145 та 178 Н.

Отримані результати дають можливість оцінити характер деформації зуба та його реакцію на зміну умов взаємодії з ґрунтом. При збільшенні поперечного відхилення робочого органу змінюється характер розподілу навантаження між стрижневою та вигнутою робочою частинами.

Таблиця 1 – Силові параметри пружинного зуба при поперечному відхиленні

Поперечне відхилення, мм	Зусилля, Н
10	90
30	145
50	178

Порівняння отриманих значень показує, що заглиблення вигнутої частини зуба призводить до збільшення силового навантаження у 2 рази порівняно з роботою без додаткового заглиблення. Це пояснюється збільшенням площі контакту робочого органу з ґрунтом.

Водночас збільшення сили опору при заглибленні робочої частини може сприяти обмеженню небажаного поперечного переміщення нижньої частини зуба. У роботі встановлено, що при заглибленні вигнутої частини збільшується площа взаємодії робочого органу з ґрунтом, що супроводжується збільшенням зусилля та зменшенням поперечних коливань.

Для оцінювання характеру навантаження також розглядали відхилення зуба в поздовжній площині. Для величин відхилення 10, 30 і 50 мм аналізували розподіл навантаження при силових впливах 90, 145 та 178 Н. Додатково досліджували відхилення зуба R = 60 мм на 70 та 100 мм при навантаженнях 211 та 254 Н.

Отже, результати моделювання підтверджують залежність силового стану пружинного зуба від величини його відхилення та умов заглиблення робочої

частини. Конструктивне виконання зуба з вигнутою робочою частиною R = 60 мм дає змогу змінювати площу взаємодії з ґрунтом і, відповідно, силову характеристику робочого органу.

Висновки. Встановлено, що силові параметри пружинного зуба штригельної борони залежать від величини його поперечного відхилення та умов взаємодії вигнутої робочої частини з ґрунтом.

Для експериментального зуба з радіусом кривизни робочої частини R = 60 мм при поперечному відхиленні до 50 мм зусилля без додаткового заглиблення становило 177 Н, а при заглибленні вигнутої частини в 355 Н.

Заглиблення вигнутої робочої частини спричиняє збільшення площі контакту зуба з ґрунтом та відповідне підвищення силового навантаження.

Дослідження розподілу навантаження при відхиленнях 10, 30 і 50 мм показало залежність силового стану зуба від величини його деформації та прикладеного навантаження.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого обґрунтування конструктивних параметрів пружинного зуба штригельної борони та режимів його роботи під час поверхневого обробітку ґрунту.

Список використаних джерел

1. Булига Ю. В., Лавренко Р. О. Спосіб виготовлення зубів борони. Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. 2020.

2. Рижкова Т. Ю., Ветохін В. І. Навчально-дослідна лабораторна установка для моделювання ґрунтообробних процесів як інструмент формування інженерних компетентностей. Машинобудування, агроінженерія та автомобільний транспорт: інновації і перспективи розвитку: зб. тез доп. І міжнар. наук.-практ. конф. Полтава, 21 травня 2026 р. Полтава: ПДАУ, 2026. С. 178-179.

3. Смолянов Є. А., Костенко О. М., Дрожчана О. У. Обґрунтування оптимального кута розташування тросового робочого органу. Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали VII всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. Полтава, 10 грудня 2024 р. Полтава: ПДАУ, 2024. С. 184-188.

4. Борак К. В., Куликівський В. Л., Кушим Р. В., Бистрицький Б. П. Особливості абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, Глеваха, 2025. С. 26-30.

5. Хісамудінов М. О., Тесленко О. В. Місце борони зубової пружинної LIRA XL-21 в технології обробітку ґрунту. Міжнародна науково-практична конференція «AutoTRAK-2023. Explore»: матер. міжнар. наук.-практ. конф, 26-27 жовтня 2023 р. Київ: НУБіП України, 2023. С. 121-123.

УДК 631.333.5

ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ ЛОПАТКИ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗСІЮВАЧА ГРАНУЛЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ: КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Ковязін О. С., Паніотов М. М., Чижиков І. О.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Постановка проблеми. Рівномірність внесення гранульованих мінеральних добрив формується внаслідок послідовного руху гранул по диску й лопатці, їх сходження, польоту, утворення епюри окремого проходу та перекриття суміжних проходів. Наявні підходи переважно передбачають розв'язання прямої задачі для заданої геометрії, тоді як локальна обернена постановка пов'язує профіль лопатки з умовою руху однієї матеріальної частинки. Недостатньо опрацьованим залишається визначення профілю лопатки за критерієм рівномірності сумарного поперечного розподілу ансамблю гранул після всіх стадій процесу. Тому актуальним є розроблення відповідного концептуального алгоритму розв'язання оберненої задачі.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні засади опису руху матеріальної частинки по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин сформовано в [1]. Подальший розвиток цього напряму охоплює рух по прямолінійних і криволінійних лопатках, а також локальну обернену постановку визначення профілю лопатки за заданою умовою руху однієї частинки [2]. Експериментальні дослідження підтверджують вплив форми лопатки на параметри розподілу матеріалу [3]. Чисельні моделі дають змогу відтворювати рух ансамблю гранул і формувати епюру окремого проходу [4, 5], тоді як оцінювання кінцевої рівномірності потребує врахування перекриття суміжних проходів [6]. Оптимізаційні підходи спрямовані на визначення раціональних параметрів процесу за прийнятим критерієм [7]. Проте в розглянутих працях окремі етапи не об'єднано в наскрізну обернену постановку визначення профілю лопатки за коефіцієнтом варіації сумарного поперечного розподілу ансамблю гранул.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення концептуального алгоритму розв'язання оберненої задачі, у якій профіль лопатки відцентрового розсіювача визначається за критерієм мінімізації коефіцієнта варіації сумарного поперечного розподілу гранул після перекриття суміжних проходів.

Результати дослідження. Сформовано концептуальний алгоритм (рис. 1), який поєднує пряму модель процесу з ітераційним коригуванням параметрів профілю лопатки. До заданих умов віднесено властивості й початкові стани гранул, режим роботи диска, швидкість руху агрегату, параметри повітряного середовища та робочу ширину. У базовій постановці ці умови залишаються незмінними, а проєктними змінними є параметри гладкої сплайн-кривої, що описує профіль лопатки у площині диска.

Для кожного поточного профілю послідовно моделюють рух ансамблю гранул по диску й лопатці, визначають параметри сходження, моделюють політ з урахуванням опору повітря, формують епюру окремого проходу, виконують перекриття суміжних проходів і обчислюють коефіцієнт варіації сумарного розподілу. Зазначена послідовність утворює пряму задачу. Для зменшення впливу статистичної мінливості всі профілі доцільно оцінювати за однакового ансамблю початкових станів гранул.

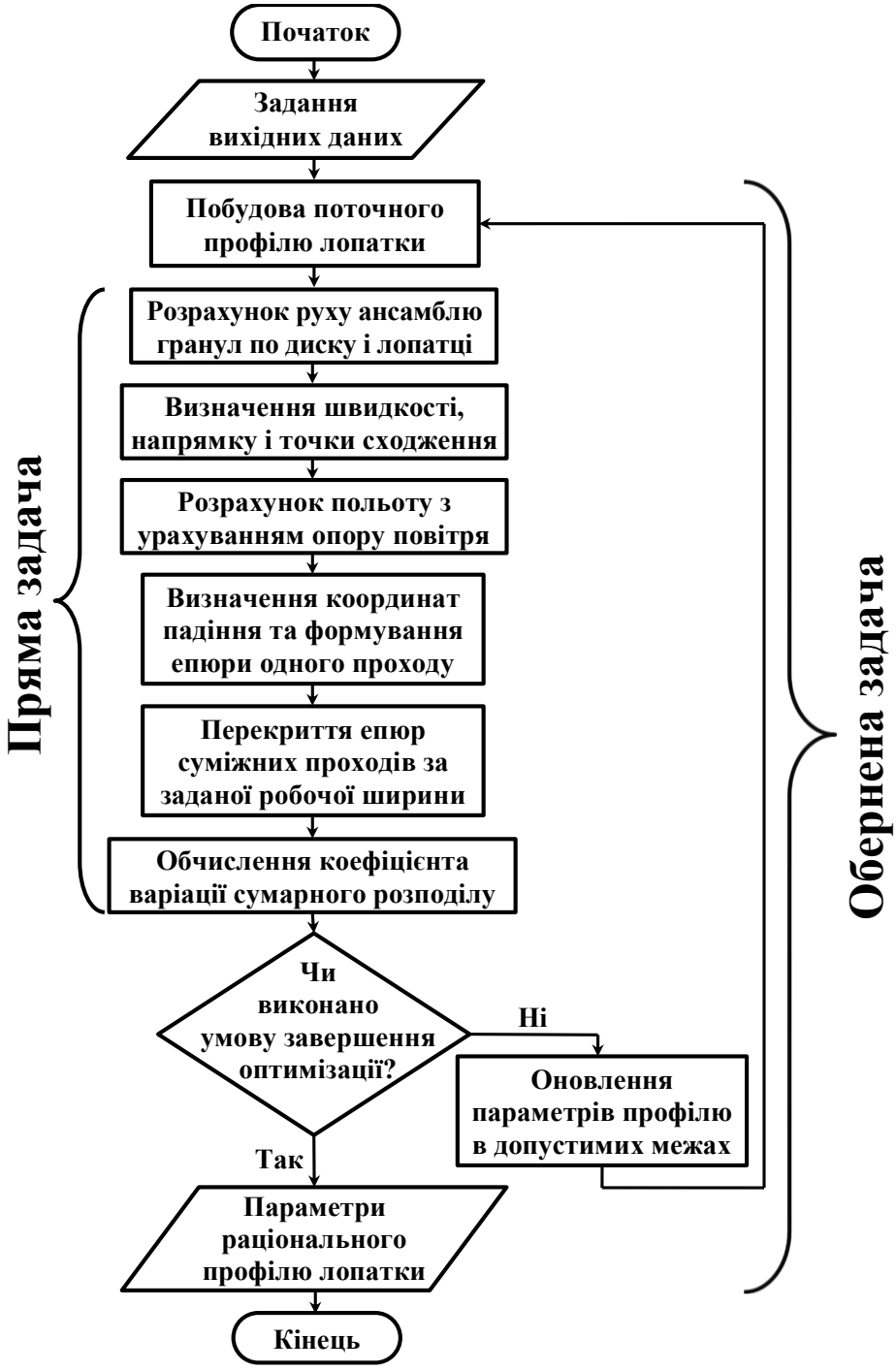


Рис. 1. Концептуальний алгоритм розв’язання оберненої задачі визначення профілю лопатки відцентрового розсіювача

Якщо умову завершення не виконано, параметри профілю коригують у допустимих геометричних і технологічних межах, після чого пряму задачу розв'язують повторно. Зворотний зв'язок між отриманим коефіцієнтом варіації та зміною параметрів профілю утворює обернену частину алгоритму. При цьому до горизонтальної лінії повинна наближатися сумарна епюра після перекриття проходів, тоді як епюра окремого проходу не обов'язково має бути горизонтальною.

Ітераційний пошук завершують після виконання заданої умови завершення оптимізації. Результатом реалізації алгоритму має бути набір параметрів допустимого профілю з найменшим отриманим значенням коефіцієнта варіації за фіксованих умов роботи. Задання робочої ширини запобігає зменшенню критерію шляхом неприйнятного звуження смуги внесення.

Висновки. Сформований концептуальний алгоритм поєднує визначення профілю лопатки з моделюванням руху ансамблю гранул, їх польоту, формуванням епюри окремого проходу та оцінюванням сумарного розподілу після перекриття суміжних проходів. Запропонований підхід створює методичну основу для подальшої чисельної реалізації оберненої задачі та пошуку раціонального профілю лопатки за критерієм мінімізації коефіцієнта варіації.

Список використаних джерел

1. Vasilenko, P. M. (1960). *Teoriia dvizheniia chastitsy po sherokhovatym poverkhnostiam sel'skokhoziaistvennykh mashin* [Theory of particle motion on rough surfaces of agricultural machines]. UASKhN.

2. Pylypaka, S. F., & Nesvidomin, A. V. (2022). Doslidzhennia rukhu materialnoi chastynky vzdovzh priamoliniinykh i kryvoliniinykh lopatok na horyzontalnomu dysku, yakyi obertaietsia navkolo vertykalnoi osi [Investigation of the motion of a material particle along straight and curved blades on a horizontal disk rotating around a vertical axis]. *Enerhetyka i avtomatyka*, (4), 107–120. https://doi.org/10.31548/energiya2022.04.107

3. Fulton, J. P., Thaper, R. K., Virk, S. S., McDonald, T. P., & Fasina, O. O. (2020). Effect of vane shape on fertilizer distribution for a dual-disc spinner spreader. *Applied Engineering in Agriculture, 36*(5), 743–751. https://doi.org/10.13031/aea.13634

4. Zinkevičienė, R., Jotautienė, E., Juostas, A., Comparetti, A., & Vaiciukevičius, E. (2021). Simulation of granular organic fertilizer application by centrifugal spreader. *Agronomy, 11*(2), 247. https://doi.org/10.3390/agronomy11020247

5. Olieslagers, R., Ramon, H., & De Baerdemaeker, J. (1996). Calculation of fertilizer distribution patterns from a spinning disc spreader by means of a simulation model. *Journal of Agricultural Engineering Research, 63*(2), 137–152. https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0016

6. Shi, Y., Zhu, Y., Wang, X., Zhang, X., Zheng, E., & Zhang, Y. (2025). Assessing particle application in multi-pass overlapping scenarios with variable rate

centrifugal fertilizer spreaders for precision agriculture. *Artificial Intelligence in Agriculture, 15,* 395–406. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.04.003

7. Koko, J., & Virin, T. (2009). Optimization of a fertilizer spreading process. *Mathematics and Computers in Simulation, 79*(11), 3099–3109. https://doi.org/10.1016/j.matcom.2009.03.001

УДК 633.854.78:531.01:620.1

ВОЛОГОТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ РИЦИНИ В УМОВАХ ДВОЧАННОЇ ПАРОВОЇ ЖАРОВНІ ПРИ ОТРИМАННІ КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ ПЕРШОГО ПРЕСУВАННЯ: ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК

Колесніченко І. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Переробка насіння рицини (Ricinus communis L.) для вилучення високоякісної касторової олії вимагає суворого дотримання низькотемпературного регламенту (не вище 72–75 °C). Традиційне використання багаточанних жаровень із подачею гострої пари провокує локальний перегрів м'ятки, денатурацію білково комплексу та міграцію в олійну фазу токсичних алкалоїдів (рицину й рициніну) і барвних пігментів. Застосування двочанних жаровень контактного нагріву (глухою парою) у поєднанні з дисперсним зволоженням дозволяє уникнути забруднення олії токсинами. Однак ефективність цього процесу обмежується низькою теплопровідністю олійної сировини, що вимагає детального математичного моделювання фазових балансів і теплообміну.

Аналіз останніх досліджень. Фундаментальні засади вивчення реологічних та структурно-механічних властивостей олійної сировини як двофазного капілярно-пористого середовища закладено у працях В.В. Дідура та В.А. Дідура [1, 3]. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини та чисельне моделювання процесів відтиску рідкої фази детально висвітлено у дослідженнях Д.П. Журавля, В.В. Дідура та Я.В. Білоконя [2, 4, 5]. Питанням вивчення форм зв'язку вологи та термостійкості насіння рицини методами термічного та термогравіметричного аналізів присвячено дослідження І.А. Колесніченко та О.В. В'юник [6]. Визначення теплофізичних та біохімічних закономірностей вологотеплової підготовки при збереженні якості олії розглядалося у роботах Н.В. Гутник, О.П. Мельника, Ю.Г. Сухенка, А.О. Pedchenko та A.V. Sousa [7–10].

Мета дослідження - розробка фізико-математичної моделі та верифікаційний розрахунок конструкційно-технологічних параметрів двочанної парової жаровні продуктивністю 500 кг/год при низькотемпературній

обробці м'ятки рицини з початковою вологістю 6,0% без використання гострої пари.

Результати досліджень. Для блокування токсичного білкового комплексу рицини в матриці макухи, температура матеріалу суворо лімітується: на виході з Чану №1 – 55 °С, на виході з Чану №2 – 72 °С. Згідно з термогравіметричними дослідженнями [6], саме у цьому інтервалі відбувається ефективне випаровування вільної та капілярної вологи. Розрахунок матеріального балансу показав, що для отримання 500,0 кг/год мезги (кінцева вологість 5,5%), витрата абсолютно сухого речовини становить 472,50 кг/год, а обсяг вихідної м'ятки – 502,66 кг/год. У Чані №1 здійснюється впорскування 16,57 кг/год дрібнодисперсної води (максимальне зволоження до 9,0%, маса сировини – 519,23 кг/год). У Чані №2 аспіраційно видаляється 19,23 кг/год вологи що випаровується. Тривалість перебування сировини в жаровні становить 27 хвилин (0,45 год) при коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,55$.

Конструкційні розрахунки визначили робочий об'єм Чану №2 на рівні 0,487 м³ (повний геометричний об'єм — 0,885 м³). Внутрішній діаметр чана становить D = 1,46 м при висоті шару м'ятки Нм = 0,29 м та повній висоті чана Нч = 0,53 м. Розрахунок теплового балансу при тиску глухої пари 0,2 МПа встановив необхідну теплову потужність: для Чану №1 — 10,58 кВт (38095,46 кДж/год), для Чану №2 — 17,83 кВт (64202,02 кДж/год). Необхідна площа теплопередачі для Чану №1 становить 1,18 м², для Чану №2 — 2,88 м² при фактично доступній площі поверхні парової сорочки 3,01 м².

Аналіз критерію придатності запатентованої конструкції $\Psi = F_{потр}/ F_{факт}$ показав, що для Чану №1 $\Psi_1 = 0,39$ (тепловий запас поверхні значний), тоді як для Чану №2 (зона сушки) $\Psi_2 = 0,96$. Це свідчить про те, що площа теплопередачі другого чана використовується практично на 96% від свого фізичного граничного максимуму.

Висновки.

1. Доведено можливість ефективної низькотемпературної підготовки м'ятки рицини в двочанній жаровні контактного нагріву продуктивністю 500 кг/год без застосування гострої пари.
2. Встановлено, що Чан №2 працює в граничному тепловому режимі ($\Psi_2 = 0,96$). Збільшення продуктивності лінії понад 500 кг/год або зростання початкової вологості сировини вище 6,0% унеможливить забезпечення параметрів сушки в заданих умовах що, в свою чергу, порушить оптимальні умови відтиску олії в шнековому пресі в наслідок незадовільного реологічного стану мезги.
3. Для проектування ліній підвищеної продуктивності рекомендовано змінювати конструктивні пропорції чанів (зменшувати відношення kh до 0,12–0,15 для збільшення площі дна) або застосовувати мішалки з внутрішнім паровим обігрівом.

Список використаних джерел

1. Дідур В. В. та ін. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2022. Вип. 12, т. 3. С. 180–189.

2. Журавель Д. П., Дідур В. В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини на енергетичну біосировину: монографія. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. 275 с.

3. Дідур В. В. та ін. Структурно-механічні властивості м'ятки насіння олійних культур. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2017. Вип. 5. С. 7–25.

4. Білокінь Я. В., Дідур В. В. Обґрунтування та розв'язання задачі відтиску рідкої фази з капілярно-пористого тіла. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2026. № 2. С. 73–80.

5. Журавель Д. П., Дідур В. В., Білоконь Я. В. Математичне моделювання процесу механічного вилучення олії з насіння рицини. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2026. Вип. 16, Т. 1. С. 32–47.

6. Колесніченко І. А., В'юник О. В. Дослідження термостійкості та форм зв'язку вологи в насінні рицини методами термічного та термогравіметричного аналізів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2026. Вип. 26, т. 2. С. 122–129.

7. Гутник Н. В., Мельник О. П. Оптимізація параметрів вологотеплової обробки м'ятки високоолійного насіння. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2021. № 2 (8). С. 45–52.

8. Сухенко Ю. Г., Демадов К. В. Математичне моделювання контактного теплообміну в апаратах для первинної переробки олійної сировини. Продовольчі ресурси. 2019. Т. 7, № 13. С. 112–119.

9. Pedchenko A. O. Influence of gentle temperature roasting regimes on the quality of first-pressed oils. Scientific Works of NUFT. 2023. Vol. 29, No. 3. P. 89–96.

10. Sousa A. V., Santana C. C. Thermal denaturation kinetics of ricin and ricinine during mechanical expression of castor seeds. Industrial Crops and Products. 2020. Vol. 143. Article 111912.

УДК 631.31:621.891

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Борак К. В.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Заєць М. Л., Корінчук Д. В.
Поліський національний університет

Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин є важливим резервом зниження експлуатаційних витрат у сільськогосподарському виробництві. Лемеші, польові дошки, стрілчасті лапи, долота, диски та інші робочі органи функціонують безпосередньо в абразивному ґрунтовому середовищі та піддаються інтенсивному зношуванню. Зміна їх початкової форми й геометричних параметрів призводить до зростання тягового опору агрегату, витрати палива, погіршення якості технологічного процесу та необхідності передчасної заміни деталей. Тому поряд із конструкційними і технологічними способами підвищення зносостійкості важливе значення мають експлуатаційні методи, застосування яких переважно не потребує значних додаткових витрат [1].

Метою роботи є узагальнення основних експлуатаційних методів підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням властивостей ґрунтового середовища, режимів роботи агрегатів, технічного стану деталей та умов їх зберігання.

Інтенсивність зношування робочих органів визначається комплексною дією властивостей ґрунту, матеріалу деталі, її геометрії, швидкості руху, глибини обробітку, питомого навантаження, вологості та абразивності ґрунтового середовища. Тому однаковий робочий орган за різних умов експлуатації може мати суттєво відмінний ресурс. Це обумовлює необхідність адаптації режимів роботи ґрунтообробних агрегатів до конкретних умов експлуатації [1, 3].

Одним із найважливіших експлуатаційних факторів є швидкість руху машинно-тракторного агрегату. Дослідження К. В. Борака та І. С. Крука показали, що зміна швидкості руху впливає на інтенсивність і характер абразивного зношування лемішних, лапових і дискових робочих органів [2]. При цьому характер залежності визначається властивостями ґрунту. На піщаних ґрунтах збільшення швидкості руху сприяє інтенсифікації абразивного зношування. Тому необґрунтоване підвищення швидкості агрегату з метою збільшення продуктивності може суттєво скорочувати ресурс деталей. Раціональним є вибір швидкісного режиму з урахуванням продуктивності агрегату, витрати палива, якості обробітку та інтенсивності зношування.

Важливим способом підвищення довговічності є вибір раціонального періоду проведення ґрунтообробних операцій. Абразивні властивості ґрунту змінюються залежно від вологості, кількості опадів, механічного складу та ступеня закріплення абразивних частинок. Планування польових робіт без

урахування фактичного стану ґрунту може призводити до прискореного зношування робочих поверхонь. Прогнозування абразивних властивостей ґрунтового середовища дозволяє обирати періоди, за яких забезпечується необхідна якість обробітку при меншій інтенсивності зношування [3].

Під час експлуатації необхідно враховувати також наявність рослинних решток у ґрунтовому середовищі. Дослідження показали, що їх присутність може впливати на перебіг абразивного зношування робочих поверхонь. Зокрема, у польових умовах на супіщаних ґрунтах за наявності рослинних решток встановлено збільшення інтенсивності зношування приблизно на 8 % [4]. Тому доцільно забезпечувати рівномірний розподіл післяжнивних решток поверхнею поля та враховувати їх наявність під час вибору режимів роботи агрегату.

Суттєве значення має дотримання раціональної глибини обробітку ґрунту. Надмірне заглиблення робочих органів збільшує площу фрикційного контакту, навантаження, тяговий опір та витрати палива. Глибина обробітку повинна відповідати агротехнічним вимогам конкретної операції без необґрунтованого її перевищення. Одночасно необхідно контролювати горизонтальність рами, правильність регулювання секцій, кутів встановлення дисків і лап, а також рівномірність заглиблення робочих органів. Порушення регулювань спричиняє нерівномірне навантаження і локальне прискорене зношування деталей.

До ефективних експлуатаційних заходів належить вирівнювання ресурсу комплекту робочих органів. У межах ширини захвату машини окремі елементи можуть працювати з різним навантаженням, особливо на поворотах, схилах та неоднорідних ґрунтах. Періодичний контроль стану та перестановка взаємозамінних деталей між більш і менш навантаженими позиціями дозволяють повніше використовувати їх ресурс. Для оборотних і двосторонніх робочих елементів доцільним є своєчасне перевертання або використання другої робочої сторони.

Важливе значення має систематичний контроль граничного стану робочих органів. Ступінь зношування доцільно визначати за зміною маси, лінійних розмірів і геометрії найбільш навантажених зон [6]. Експлуатація деталей після досягнення ними граничного стану є економічно недоцільною, оскільки втрата початкової форми збільшує тяговий опір та погіршує якість виконання технологічної операції. Тому технічне обслуговування повинно передбачати регулярний контроль стану робочих поверхонь і своєчасну заміну або відновлення деталей.

Окремим резервом підвищення довговічності є правильне міжсезонне зберігання техніки. Після завершення польових робіт на поверхнях деталей залишаються мікродефекти, які за неналежного зберігання стають осередками корозійних процесів. Дослідження К. В. Борака та співавторів встановили, що попередня корозія поверхонь тертя може призводити до зниження їх мікротвердості на 3,54–9,6 % та збільшення інтенсивності подальшого абразивного зношування приблизно на 9,4 % [5]. Тому після завершення сезону необхідно очищати робочі органи від ґрунту й рослинних решток, просушувати їх, відновлювати захисне покриття та наносити консерваційні матеріали.

Найбільш доцільним є зберігання машин під накриттям або в закритих приміщеннях.

Таким чином, експлуатаційне підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин необхідно розглядати як систему керування їх ресурсом. Вона повинна передбачати вибір раціональної швидкості руху агрегату, дотримання оптимальної глибини обробітку, врахування абразивних властивостей ґрунту та рослинних решток, контроль технічного стану деталей, вирівнювання їх ресурсу та належне міжсезонне зберігання. Комплексне застосування зазначених заходів дозволяє знизити інтенсивність зношування, підвищити ресурс робочих органів та скоротити експлуатаційні витрати ґрунтообробних агрегатів.

Список використаних джерел

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11. Київ : НУБіП України, 2021. 49 с.
2. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 1 (281). С. 30–36. DOI: 10.31891/2307-5732-2020-281-1-30-36.
3. Борак К. В. Прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів для забезпечення надійної експлуатації робочих органів. Технічні науки та технології. 2020. № 1 (19). С. 53–64. DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-53-64.
4. Борак К. В. Вплив рослинних решток на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3 (34). С. 96–101. DOI: 10.32515/2664-262X.2020.3(34).96-101.
5. Борак К. В., Куликівський В. Л., Руднік Д. І. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2023. № 2. С. 34–43. DOI: 10.31649/2307-5376-2023-2-34-43.
6. Герук С. М., Борак К. В. Методика експлуатаційних досліджень зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград : КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 392–396.
7. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2017. 278 с.

УДК 631.372:629.11.012.5

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕРУХОМИХ ҐРУНТОЗАЧЕПІВ У СКЛАДІ ГУСЕНИЧНИХ РУШІЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Кошова К. К., Попов С. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Підвищення ефективності експлуатації сільськогосподарської техніки є одним із актуальних напрямів розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування [1-3]. Значна частина технологічних операцій виконується в умовах підвищеної вологості, низької несучої здатності ґрунту, складного рельєфу та сезонних змін стану опорної поверхні. Такі умови висувають підвищені вимоги до прохідності та тягово-зчіпних властивостей машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із ефективних способів підвищення прохідності сільськогосподарської техніки є застосування гусеничних рушіїв [4, 5]. У порівнянні з колісними ходовими системами гусеничні рушії характеризуються більшою площею контакту з опорною поверхнею, меншим питомим тиском на ґрунт та потенційно більш високою прохідністю. Особливо широкого застосування набули гумові гусеничні стрічки, що забезпечують зниження пошкодження дорожнього покриття, зменшення вібрацій та досить високу експлуатаційну універсальність [6].

Проте ефективність використання гумових гусениць істотно залежить від стану опорної поверхні. При роботі на вологих, пухких або слабонесучих ґрунтах коефіцієнт зчеплення може знижуватися, внаслідок чого зростає буксування гусеничної стрічки. Це призводить до неповного використання потужності двигуна, збільшення енергетичних витрат та погіршення тягових характеристик машини [7-9].

Одним із можливих напрямів вирішення цієї проблеми є застосування додаткових металевих елементів зчеплення. Вони встановлюються безпосередньо на гумову гусеничну стрічку. До таких конструкцій належать гвинтові шипи, ланцюгові протиковзні пристрої, накладні ґрунтозачепи, розширювальні башмаки та змінні елементи зчеплення.

Мета. Метою роботи є оцінювання перспективності застосування нерухомих ґрунтозачепів у складі гусеничних рушіїв сільськогосподарських машин для підвищення їх тягово-зчіпних властивостей та забезпечення можливості експлуатації в різних умовах.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути конструктивні особливості нерухомих ґрунтозачепів, розглянути спосіб їх встановлення на гумову гусеничну стрічку, а також оцінити переваги та обмеження даного технічного рішення.

Результати досліджень. Аналіз конструктивних рішень показав, що нерухомі ґрунтозачепи можуть бути одним зі способів підвищення тягово-зчіпних властивостей гусеничного рушія без необхідності повної заміни гумової гусениці. Такий підхід становить практичний інтерес для сільськогосподарської техніки, оскільки умови її експлуатації суттєво змінюються протягом робочого сезону.

Розглянуто конструкцію нерухомого ґрунтозачіпного пристрою, призначеного для встановлення на гумову гусеничну стрічку. Основна ідея полягає у розміщенні металевих елементів на поверхні гусениці таким чином, щоб вони забезпечували додаткову механічну взаємодію з ґрунтом.

Для забезпечення можливості встановлення пристрою у конструкції гумової гусениці передбачається виконання поперечних пазів у виступах протектора. Пази дозволяють розмістити елементи кріплення нижче рівня робочої поверхні ґрунтозачепів і забезпечити необхідне з'єднання пристрою з гусеничною стрічкою. Як початковий варіант пропонується виконувати прорізи в кожному другому виступі протектора, при цьому крок розташування пазів може коригуватися залежно від типорозміру гусениці та конструкції пристрою, що встановлюється. Одним із основних елементів конструкції є бічний захоплювач, що забезпечує кріплення ґрунтозачіпної пластини. Цей елемент може використовуватися як з правого, так і з лівого боку конструкції. У процесі експлуатації на бічні захоплювачі діють навантаження розтягу, тому до їх матеріалу пред'являються вимоги щодо міцності та технологічності механічної обробки. Нерухоме виконання ґрунтозачепів має низку конструктивних переваг. Насамперед, це відносна простота конструкції та відсутність механізму переведення ґрунтозачепу з робочого положення в неробоче. У результаті пристрій може мати меншу кількість деталей та простішу технологію виготовлення і технічного обслуговування.

Іншою перевагою є можливість використання змінних елементів зчеплення. При зношуванні окремих деталей може здійснюватися їх заміна без необхідності заміни всієї гусеничної стрічки. Це дозволяє потенційно знизити експлуатаційні витрати та збільшити строк експлуатації основних елементів гусеничного рушія. У той же час застосування нерухомих ґрунтозачепів обмежує універсальність гусеничного рушія. На відміну від висувної конструкції, нерухомі елементи постійно перебувають у робочому положенні. Це може ускладнювати експлуатацію машини на дорогах та інших поверхнях із твердим покриттям.

Отже, нерухомі ґрунтозачепи доцільно розглядати насамперед для експлуатації машин на ґрунтових поверхнях, де потрібне підвищене зчеплення. При необхідності регулярного переходу між твердим покриттям і ґрунтовими ділянками перспективнішим може бути застосування висувної конструкції.

Важливою умовою ефективності нерухомих ґрунтозачепів є відповідність їх геометричних параметрів умов експлуатації. За недостатньої висоти ґрунтозачепу додаткове зчеплення може бути обмеженим. Водночас надмірне

заглиблення металевих елементів у ґрунт може збільшити опір руху та призвести до надмірної деформації ґрунту.

Таким чином, використання ґрунтозачепів повинно здійснюватися з урахуванням типу та стану ґрунту, навантаження на гусеничний рушій та режиму руху машини. Надмірне заглиблення ґрунтозачепів на м'яких та вологих ґрунтах здатне призводити до додаткового руйнування верхнього шару ґрунту.

Перспективність застосування конструкції також пов'язана з можливим зниженням буксування. При недостатньому зчепленні частина потужності двигуна витрачається неефективно на подолання ковзання гусениці. Підвищення зчеплення потенційно дозволяє більш ефективно використовувати потужність двигуна та зменшити пов'язані з буксуванням енергетичні втрати.

Висновки. Використання ґрунтозачепів у складі гусеничних рушіїв сільськогосподарських машин є перспективним напрямом підвищення їх тягово-зчіпних властивостей при роботі на ґрунтових і слабконесучих поверхнях. Розглянута конструкція спрямована на підвищення зчеплення гумової гусеничної стрічки з опорною поверхнею без необхідності повної заміни гусениці, а застосування змінних елементів дає змогу здійснювати їх заміну в міру зношування. Конструктивна простота нерухомих ґрунтозачепів сприяє зниженню складності виготовлення та технічного обслуговування пристрою. Разом з тим ефективність ґрунтозачепів залежить від стану ґрунту та режиму руху машини, оскільки їх надмірне заглиблення може збільшувати механічну дію на ґрунтовий покрив. Тому остаточна оцінка ефективності запропонованої конструкції вимагає проведення натурних досліджень тягово-зчіпних характеристик гусеничного рушія за різних умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.

2. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 258 с.

3. Попов С.В., Бучинський М.Я., Гнітько С.М., Чернявський А.М. Теорія механізмів технологічних машин: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 268 с.

3. Кубіч В. І. Ходова частина гусеничних машин: навчальний посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. 247 с.

4. Взаємодія ходових систем мобільних енергетичних засобів з ґрунтом : монографія / В. Т. Надикто та ін. Мелітополь: Люкс, 2016. 234 с.

5. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. Biosystems Engineering. 2012. Vol. 111, No. 1. P. 57-63.

6. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. 5th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022. 592 p.

7. Взаємодія ходових систем мобільних енергетичних засобів з ґрунтом : монографія / В. Т. Надикто та ін. Мелітополь: Люкс, 2016. 234 с.

8. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. 5th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022. 592 p.

9. Теорія трактора: підручник / В. В. Лебедєв та ін. ; за ред. В. В. Лебедєва. Харків: ХНАДУ, 2018. 352 с.

УДК 629.7:631.3:621.8

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Крушельницький В.В., Чеботаєв І.А.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасне сільськогосподарське виробництво вимагає розширення функціоналу безпілотних літальних апаратів мультироторного типу. Цей напрямок є доволі перспективним, оскільки БПЛА поступово доповнюють, а подекуди замінюють наземні польові агрегати. Їх часто використовують у точному землеробстві для внесення гербіцидів і пестицидів, моніторингу посівів для виявлення шкідників і хвороб рослин, оцінки стану посівів та прогнозування врожайності [1-2]. Для розширення спектра виконуваних завдань потрібна фізична взаємодія квадрокоптерів із зовнішнім світом. Це дає змогу використовувати БПЛА для відбору зразків ґрунту, вегетативної біомаси або плодів [3-4], точкового розгортання IoT-сенсорних станцій, наприклад, для визначення вологості ґрунту, а також для розповсюдження капсул із ентомофагами [5]. Тому метою дослідження є аналіз конструкцій захватних пристроїв як робочого органу квадрокоптера для використання у сільськогосподарському виробництві.

Типові квадрокоптери мають обмеження щодо вантажопідйомності та тривалості польоту. Монтаж захватного пристрою на квадрокоптер призводить до збільшення його маси, в результаті чого час польоту зменшується. Тому вибір конструкції захватного пристрою має враховувати ці обмеження. Встановлення додаткового обладнання не повинно значно зміщувати центр ваги квадрокоптера, оскільки таке зміщення призводить до дестабілізації всієї системи під час захоплення та відпускання об’єкта.

Існуючі конструкції механічних захватних пристроїв можна розділити на чотири групи: важільні жорсткі, важільні із самоблокуванням, м’які [6] та спеціальні. Кожен із цих типів має свої переваги та недоліки. Жорсткі важільні захватні пристрої зазвичай приводяться в дію серводвигуном. До переваг слід віднести високу жорсткість фіксації об’єкта та можливість точного позиціонування завдяки зворотньому зв’язку серводвигуна. Серед недоліків

можна віднести чутливість до геометричних розмірів об’єкта, що супроводжується ризиком його пошкодження. Також під час утримання об’єкта серводвигун постійно споживає струм, що скорочує час перебування квадрокоптера в повітрі. Важільні захватні пристрої із самоблокуванням мають схожі переваги та недоліки, як і важільні жорсткі пристрої. Перевагою таких пристроїв є можливість не подавати живлення на приводний двигун під час переміщення об’єкта, оскільки в такій конструкції пристрій блокується. У такій конструкції часто використовують черв’ячний редуктор. До недоліків слід віднести великі масогабаритні характеристики та тривалість спрацювання. Вибір оптимального ступеня затиску об’єкта без зворотнього зв’язку також є проблематичним. Наступний тип – це м’які захватні пристрої. Вони виготовляються з силікону або термополіуретану та мають малу вагу робочого органу. Вони самостійно адаптуються до форми об’єкта, але їхнє застосування, як правило, вимагає компресора або серволебідок з тросами, що значно ускладнює конструкцію. До спеціальних захватних пристроїв можна віднести складні механізми для виконання комбінованих операцій, наприклад, для зрізання верхнього шару ґрунту та його відбирання для подальшого аналізу. Такі конструкції важчі за попередньо розглянуті, а їх виготовлення вважається найскладнішим із перелічених.

Провівши аналіз конструкцій захватних пристроїв, можна зробити висновок, що кожен тип захватного пристрою може бути встановлений на квадрокоптер для застосування в сільськогосподарському виробництві. Вибір конструкції залежить від завдань, які має виконувати БПЛА та самих технічних характеристик квадрокоптера, таких як час польоту та вантажопідйомність. Якщо розглядати окремо завдання, які є у сільськогосподарському виробництві для літальних апаратів мультироторного типу, то слід зазначити, що для переміщення штучних вантажів доцільно використовувати захватний пристрій із самоблокуванням, оскільки він не потребує постійного живлення двигуна під час переміщення вантажу. Важільні жорсткі можуть використовуватися як частина спеціальних захватних пристроїв, де регулювання зусилля стискання не є основним критерієм. Для фітосанітарного контролю перевагу мають м’які еластомерні захвати, оскільки вони не пошкоджують відібрані зразки тканин. Значною мірою на точність, плавність і ступінь стискання впливає система керування. Вона має регулювати ступінь стискання об’єкта, відстежуючи його за допомогою зворотного зв’язку, тому подальші дослідження мають бути спрямовані на аналіз вже існуючих систем керування з подальшим їх удосконаленням відповідно до поставленого завдання сільськогосподарського виробництва.

Список використаних джерел

1. Talaeizadeh A., Sharifi I., Alasty A., Ghatrehsamani S. Agricultural spraying drones: A comprehensive review. Smart Agricultural Technology. 2025. Vol. 12. Art. 101519. DOI: 10.1016/j.atech.2025.101519.

2. Zhang S., Wang X., Lin H., Dong Y., Qiang Z. A review of the application of UAV multispectral remote sensing technology in precision agriculture. Smart

Agricultural Technology. 2025. Vol. 12. Art. 101406. DOI: 10.1016/j.atech.2025.101406.

3. Yu Z., Ji W., Huang X., He X. Development and performance evaluation of orchard tethered flexible pear fruit picking UAV system. Smart Agricultural Technology. 2026. Vol. 14. Art. 102343. DOI: 10.1016/j.atech.2026.102343.

4. Liu Z., Zhou J., Mucchiani C., Karydis K. Vision-assisted avocado harvesting with aerial bimanual manipulation. arXiv. 2024. arXiv:2408.09058. DOI: 10.48550/arXiv.2408.09058.

5. Zhan Y., Chen S., Wang G., Fu J., Lan Y. Biological control technology and application based on agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) intelligent delivery of insect natural enemies (Trichogramma) carrier. Pest Management Science. 2021. Vol. 77, No. 7. P. 3259–3272. DOI: 10.1002/ps.6371.

6. Shintake J., Cacucciolo V., Floreano D., Shea H. Soft robotic grippers. Advanced Materials. 2018. Vol. 30. Art. 1707035. DOI: 10.1002/adma.201707035.

УДК 631.362 : 004.932

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОЇ

Кузьмич А. Я., Степаненко С. П.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України

Сучасний розвиток галузевого машинобудування, зокрема вітчизняного виробництва зернопереробного та сортувального обладнання, потребує впровадження високоточних безперервних систем автоматичного контролю та фракціонування. Під час післязбиральної обробки та передпосівної підготовки насіння сої в технологічних лініях виникає проблема швидкісного й точного розділення продукції на фракції: кондиційне насіння, пошкоджене (бите/тріснуте) зерно та супутні органічні домішки (фрагменти стручків, стебел).

Традиційні механічні та оптичні сортувальні машини (серійні RGB-фотосепаратори) часто припускаються помилок через візуальну схожість сухих оболонок стручків із жовтою поверхнею сої у видимому діапазоні, а також через динамічне змазування зображення, викликане високою частотою коливань транспортувальних лотків та вібрацією конструктивних елементів машин.

Створення вітчизняних сортувальних агрегатів нового покоління вимагає обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів їхніх оптико-електронних модулів на основі поєднання фізично обґрунтованих спектральних маркерів із завадостійкими нейромережевими архітектурами комп'ютерного зору.

Аналіз тенденцій розвитку конструкцій зерноочисної техніки свідчить про активний перехід від контактних механічних, п'єзоелектричних та ємнісних сенсорів до безконтактних інтелектуальних оптико-електронних систем аналізу

матеріального потоку. Дослідження [1–3] підтверджують ефективність спектроскопії у видимому (VIS) та ближньому інфрачервоному (NIR) діапазонах для ідентифікації фізико-механічних властивостей та прихованих дефектів зерна. Для задач швидкісного розпізнавання об'єктів у потоці сепаратора застосовують нейронні мережі класу YOLO [4]. Однак ключовими недоліками існуючих машинобудівних рішень залишаються висока чутливість сенсорних систем до коливань освітленості всередині робочих камер, відсутність інваріантності алгоритмів до вібраційного розмиття контурів рухомих об'єктів та дефіцит прецизійності при локалізації мікродефектів насіннєвої оболонки в реальному часі.

Мета досліджень полягає в підвищення точності та надійності функціонування зерносортувальних машин шляхом обґрунтування оптимальних параметрів оптико-електронного модуля та розробки завадостійкої нейромережевої моделі екземплярної сегментації (YOLO11n-seg), яка інтегрує спектральні характеристики матеріалу із високороздільною просторовою обробкою кадрів.

Проведено обґрунтування спектральних режимів роботи сенсорного модуля. На лабораторно-випробувальному стенді сортувального обладнання із мультиспектральними датчиками AS7262/AS7263 та системою усереднення сигналу за допомогою обертової платформи було визначено абсолютні спектральні коефіцієнти відбиття $R_{abs}(\lambda)$ для трьох основних технологічних фракцій.

Виявлено «спектральний провал» інтенсивності відбиття на довжині хвилі 600 нм $R_{abs} \approx 10\%$ для цілого зерна та $< 3\%$ для домішок), що рекомендовано використовувати в оптичних схемах машин для формування бінарних масок матеріалу.

Визначено найбільш репрезентативне «контрастне вікно» у NIR-діапазоні на довжинах хвиль 610–680 нм та 760 нм, де відносний коефіцієнт відбиття цілого зерна на 15–22% перевищує показник органічних домішок.

З’ясовано, що коефіцієнт відбиття оголеного ендосперму (бите зерно) в синьо-фіолетових каналах (450–500 нм) на 15–20% вищий порівняно із цілою насіннєвою оболонкою.

Для забезпечення стійкості роботи оптико-електронного модуля в умовах реальної експлуатації машин сформовано серію датасетів (D1–D5). Найвищу адаптивність показав комбінований датасет D5, який, окрім геометричних поворотів (0–150) та змін експозиції (±10%), містив синтетичне розмиття контурів (Gaussian Blur до 1,5 px). Це дозволило успішно зімітувати динамічне змазування зображення (motion blur), викликане вібраційним рухом транспортувальних лотків сепаратора.

Проведено оцінку ефективності та швидкодії оптико-електронного модуля. Навчання та тестування алгоритмів виконувалося безпосередньо на бортовому обчислювальному модулі NVIDIA Jetson AGX Orin (64 GB). Дослідження базових конфігурацій (D1–D4) за стандартної роздільної здатності 640×640 пікселів показали високу точність виявлення об'єктів (Mask $mAP_{50} =$

$0{,}940 - 0{,}956$), однак метрика строгої сегментації mAP_{50-95} залишалася в межах 0,772–0,794 при затримці інференсу 16,1–18, мс ($\sim 54 - 62\ FPS$).

Застосування комбінованого завадостійкого датасету D5 при роздільній здатності 640×640 пікселів забезпечило Mask $mAP_{50} = 0{,}952$ та $mAP_{50-95} = 0{,}791$ при затримці 16,3 мс ($\sim 61\ FPS$). Збільшення роздільної здатності кадру до 1280×1280 пікселів (конфігурація D5_1280) забезпечило підвищення точності сегментації mAP_{50-95} до 0,872 (приріст виявлення мікротріщин і пошкоджень склав +10,1%). Час обробки кадру 60,3 мс ($\sim 15\ FPS$) є достатнім для забезпечення роботи експрес-аналізаторів та високопродуктивних фотосепараторів у режимі реального часу.

Висновки. Встановлено оптимальні спектральні режими для побудови оптичних систем зерноочисних машин (контрастні інтервали 610–680 нм, 760 нм та 450–500 нм), що підвищує роздільну здатність сепарації.

Доведено, що включення імітації вібраційного розмиття (Blur до 1,5 px) у процес навчання моделей комп'ютерного зору забезпечує стабільність роботи оптико-електронного модуля в умовах реальних технологічних вібрацій обладнання.

Обґрунтовано параметри нейромережевого модуля (YOLO11n-seg при 1280×1280 px), який досягає точності $mAP_{50-95} = 0{,}872$ та рекомендований до впровадження в конструкції сучасних вітчизняних сортувальних машин і ліній післязбиральної обробки сої.

Список використаних джерел

1. Chung, S. O., Choi, M. C., Lee, K. H., Kim, Y. J., Hong, S. J., & Li, M. (2016). Sensing Technologies for Grain Crop Yield Monitoring Systems: A Review. Journal of Biosystems Engineering, 41, 408-417. DOI: 10.5307/JBE.2016.41.4.408

2. Sunil, C. K., Ashish, R., Chidanand, V., & Shobika, S. (Eds.) (2025). Emerging Non-destructive Technologies for Food Quality Analysis. Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-95048-3

3. Cardoso Jesus, J.L., Bilhalva, N.D., Santana, D.C., Teodoro, L.P., Teodoro, P.E., & Coradi, P.C. (2026). Classification of the Physicochemical Quality of White, Parboiled, Black and Red Rice in Storage and Processing Units Integrating Near-infrared Spectroscopy, Hyperspectral Sensing, and Machine Learning Models. Journal of Biosystems Engineering, 51 (1), 8. DOI: 10.1007/s42853-025-00290-z

4. Yue X., Tan X., Xiao J., Chen J., Ouyang H., & Lan Y. (2026). Research status and development trend of intelligent detection technology for rice pest. Journal of South China Agricultural University, 47 (2), 196–208. DOI: 10.7671/j.issn.1001-411X.202510034

УДК 631.331

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СІВБИ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Куликівський В.Л., Олішевський П.С.
Поліський національний університет

Сучасні технології вирощування просапних культур передбачають підвищення вимог до точності виконання технологічної операції сівби. Формування оптимальної густоти рослин та рівномірність їх розміщення у рядку значною мірою залежать від роботи висівного апарата. Особливо важливого значення це набуває під час сівби кукурудзи, соняшнику, сої та інших культур, для яких необхідне індивідуальне дозування насіння та дотримання заданого інтервалу між насінинами.

Одним із перспективних напрямів удосконалення сівалок точного висіву є застосування індивідуального електропривода висівних апаратів. Перехід від традиційного механічного привода, що отримує рух від опорно-приводного колеса через систему валів, ланцюгових передач і зірочок, до електричного привода дає змогу спростити кінематичну схему машини та забезпечити незалежне керування кожною висівною секцією [1, 2]. Сучасні системи електричного привода можуть встановлюватися як на нових сівалках, так і використовуватися для модернізації наявних посівних машин.

Основним недоліком механічного привода висівних апаратів є залежність частоти обертання висівного диска від фактичного обертання опорно-приводного колеса. Під час роботи агрегату можливі його пробуксовування, коливання, зміна радіуса кочення, а також виникнення динамічних навантажень у ланцюгових передачах. У результаті частота обертання висівного диска може відхилятися від розрахункового значення, що спричиняє зміну норми висіву та нерівномірність розміщення насіння. Застосування електродвигуна для безпосереднього привода висівного апарата значною мірою усуває вплив зазначених чинників [2, 3].

У загальному випадку необхідна частота обертання висівного диска визначається відповідно до швидкості руху посівного агрегату, заданої відстані між насінинами та кількості комірок або отворів висівного диска:

$$n = 60v / (a \cdot z), \quad (1)$$

де n – частота обертання висівного диска, хв$^{-1}$; v – швидкість руху посівного агрегату, м/с; a – заданий інтервал між насінинами у рядку, м; z – кількість робочих комірок або отворів висівного диска.

Таким чином, для забезпечення заданого інтервалу між насінинами система керування повинна змінювати частоту обертання електродвигуна пропорційно фактичній швидкості переміщення посівного агрегату. Інформація про швидкість може надходити від датчика швидкості, радара, енкодера або

супутникової навігаційної системи. Контролер відповідно до заданої норми висіву формує керуючий сигнал для електродвигуна кожної висівної секції.

Перспективним є використання безщіткових електродвигунів постійного струму BLDC, які характеризуються можливістю точного регулювання частоти обертання, достатньою швидкодією та ресурсом роботи. У дослідженні J. Mahapatra та співавторів кожна секція експериментальної пневматичної сівалки приводилася окремим BLDC-двигуном. Керування частотою обертання висівного диска здійснювалося мікроконтролером із використанням зворотного зв'язку та PID-регулювання [3]. При виборі двигуна автори передбачали запас крутного моменту: його номінальний момент приймався приблизно у 1,5 раза більшим за момент, необхідний для обертання висівного диска в досліджуваних умовах. Індивідуальний електропривод забезпечує принципово нові можливості керування процесом сівби. По-перше, стає можливим незалежне регулювання частоти обертання висівного диска кожної секції. По-друге, електронна система може автоматично відключати окремі рядки під час входження посівного агрегату на вже засіяну ділянку. Це особливо важливо на краях поля, клиноподібних ділянках та під час обходу перешкод. По-третє, створюються передумови для диференційованого висіву, коли норма висіву автоматично змінюється відповідно до електронної карти-завдання [2]. Електричні приводи також дозволяють реалізувати компенсацію під час руху агрегату по криволінійній траєкторії: висівні апарати внутрішніх секцій можуть працювати з меншою, а зовнішніх – з більшою частотою обертання відповідно до фактичної швидкості кожного рядка.

Ефективність використання електропривода підтверджується результатами випробувань сільськогосподарських машин. Під час дослідження універсальної пневматичної сівалки Vega-8 з індивідуальним електроприводом висівних секцій було встановлено, що відхилення фактичної норми висіву від заданої під час сівби соняшнику становило 0,5–3,0 %, кукурудзи – 1,8–6,4 %, сої – 3,5–4,7 %. Для варіанта цієї сівалки з механічним приводом висівних апаратів у наведених випробуваннях відхилення від заданої норми досягало 12–14 % [1]. Отримані результати свідчать про можливість суттєвого зниження впливу нестабільності механічного привода на норму висіву.

Важливим напрямом розвитку електропривода є застосування замкнутих систем автоматичного регулювання. У такому разі контролер не лише задає необхідну частоту обертання електродвигуна відповідно до швидкості агрегату, а й постійно порівнює задане значення з фактичним, отриманим від датчика. У разі появи похибки автоматично коригується керуючий сигнал. У дослідженні системи електропривода для кукурудзяної сівалки точність регулювання інтервалу між насінинами досягала близько 98 % при заданих відстанях 20, 25 та 30 см [4]. Це демонструє потенціал систем автоматичного керування для забезпечення стабільних параметрів технологічного процесу.

Застосування електропривода також спрощує конструкцію трансмісії сівалки. Відсутність значної кількості зірочок, ланцюгових передач, муфт та довгих приводних валів зменшує кількість механічних елементів, які потребують

регулювання й технічного обслуговування [2]. Крім того, електронний контроль кожної секції дозволяє оператору в режимі реального часу отримувати інформацію про роботу висівних апаратів, пропуски, подвійний висів та відхилення від заданих параметрів.

Разом із перевагами електропривод має певні особливості, які необхідно враховувати під час проєктування та експлуатації посівного агрегату. Зокрема, збільшується навантаження на електричну систему трактора, виникає необхідність забезпечення стабільної напруги живлення, захисту електродвигунів, контролерів, датчиків і кабельних з'єднань від пилу, вологи та механічних пошкоджень. Діагностування несправностей електронних компонентів також потребує відповідної кваліфікації обслуговуючого персоналу [2]. Під час обґрунтування параметрів електропривода висівного апарата доцільно враховувати діапазон робочих швидкостей посівного агрегату; заданий інтервал між насінинами; кількість отворів висівного диска; діапазон необхідної частоти його обертання; крутний момент на валу; динамічні характеристики електродвигуна; передаточне відношення привода; точність датчика частоти обертання та швидкодію системи автоматичного керування. Саме узгодження цих параметрів визначає здатність системи підтримувати задану норму висіву при зміні швидкості руху агрегату.

Отже, застосування індивідуального електропривода висівних апаратів є перспективним напрямом підвищення точності сівби просапних культур. Електропривод дає можливість усунути безпосередню залежність роботи висівного апарата від пробуксовування опорно-приводних коліс і похибок механічної трансмісії, забезпечити оперативне регулювання частоти обертання висівного диска, індивідуальне керування кожним рядком, автоматичне відключення секцій та реалізацію диференційованих норм висіву.

Список використаних джерел

1. Легкодух І., Демидов С., Стародубцева М. Дослідження ефективності застосування електропривода висівних апаратів під час роботи сівалки універсальної пневматичної «Vega-8» (результати випробувань). Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2019. Вип. 24 (38). С. 113–123. DOI: 10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-10.

2. Virk S. Electric Drives for Seed Metering on Row Crop Planters. Alabama Cooperative Extension System. 2025. URL: https://www.aces.edu/blog/topics/farming/electric-drives-for-seed-metering-on-row-crop-planters/ (дата звернення: 24.09.2026).

3. Mahapatra J., Tiwari P. S., Singh K. P., Nandede B. M., Sahni R. K., Pagare V., Singh J., Shrinivasa D. J., Mandal S. An Adjustable Pneumatic Planter with Reduced Source Vibration for Better Precision in Field Seeding. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 11. Art. 3399. DOI: 10.3390/s24113399.

4. Wang B., Wang Y., Wang H., Mao H., Zhou L. Research on accurate perception and control system of fertilization amount for corn fertilization planter. Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Art. 1074945. DOI: 10.3389/fpls.2022.1074945.

УДК 631.312

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ОРАНКА З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ГЛИБИНИ РОДЮЧОГО ШАРУ ҐРУНТУ

Куліков О. А.
Сумський національний аграрний університет

Однією з проблем сучасного землеробства є забезпечення раціональної глибини оранки на полях із неоднорідною глибиною родючого шару ґрунту. Традиційне налаштування плуга передбачає встановлення сталої або обмеженої кількості значень глибини обробітку для всієї площі поля. При цьому фактична глибина родючого шару може істотно змінюватися в межах однієї земельної ділянки.

Неоднорідність ґрунтового профілю може формуватися як природними чинниками, так і внаслідок тривалої експлуатації поля, що призводять до локального ущільнення ґрунту, зміни його структури та нерівномірного формування орного шару. У результаті глибина залягання нижнього, менш родючого шару може відрізнятися навіть на відносно невеликих відстанях.

Особливої актуальності проблема набуває на полях, де під родючим чорноземним шаром залягає піщаний або інший малородючий горизонт. Виконання оранки на однакову глибину в таких умовах може призвести до залучення нижнього горизонту до орного шару на окремих ділянках поля. Це може зменшувати частку родючого ґрунту у верхньому шарі та негативно впливати на його властивості.

Для недопущення залучення нижнього малородючого горизонту до оброблюваного шару використано технологічний підхід, відповідно до якого після збирання врожаю здійснюється просторове вимірювання глибини родючого шару ґрунту з установленим кроком. Отримані дані прив’язуються до координат місцевості та використовуються для формування цифрової карти глибини родючого шару конкретного поля.

Відмінністю є встановлення принципу диференційованого формування глибини оранки на основі просторової карти фактичної глибини родючого шару ґрунту з автоматичним коригуванням положення робочого органу плуга відповідно до поточних координат агрегату. Такий підхід передбачає максимальне використання доступної потужності родючого шару на кожній ділянці поля без залучення нижнього малородючого горизонту.

Практична реалізація запропонованого підходу передбачає використання систем точного землеробства, супутникового позиціонування RTK/GNSS та автоматизованої системи керування глибиною плуга. Під час руху агрегату система визначає його поточне положення на полі, порівнює координати з цифровою картою глибини родючого шару та формує керуючий сигнал для зміни глибини заглиблення робочих органів.

УДК 621.867.332

УДОСКОНАЛЕННЯ КОВШОВОЇ НОРІЇ ЕЛЕВАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Бурлака О.А., Лазоренко А.І.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Відомо, що якість транспортування зерна сільськогосподарських культур ковшовими норіями різноманітного елеваторного обладнання можливо оцінити за ступенем прямого та зворотного сипу зерна [1,2], ступенем механічного пошкодження, механічного подрібнення (руйнування) та компресійного травмування зерна. Також при цьому використовують порівняльні значення питомих витрат енергії на транспортування зерна, оцінювання матеріалоємності конструкції норії, надійність та ресурс роботи ковшових норій [3,4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вагомий внесок у розвиток дослідження процесів транспортування зернових матеріалів зробили Л. В. Погорілий, В. О. Шейченко, В. В. Адамчук, Є. С. Босой, Л. В. Фадєєв, В. І. Нєдовесов та інші дослідники, у працях яких сформульовано теоретичні засади функціонування транспортно-технологічних систем, наведено результати досліджень процесів переміщення зерна скребковими та ковшовими норіями, а також визначено основні фактори, що впливають на ефективність їх експлуатації [4,5].

Застосування аналітичних і чисельних методів моделювання дозволило встановити залежності між конструктивними параметрами норій, режимами їх роботи та показниками ефективності транспортування зернової маси [6,7].

Важливе місце у зазначених дослідженнях займають експериментальні роботи [4,8], спрямовані на оцінювання технологічної ефективності транспортуючих систем. У наукових публікаціях наведено результати експериментів по визначенню закономірностей переміщення зернових потоків, оцінювання рівня подрібнення та травмування зерна сільськогосподарських культур, визначення продуктивності норій, визначення енергетичних витрат та якості процесу розвантаження залежно від конструктивних особливостей транспортуючих органів і режимів їх роботи.

Тому, особливого наукового й практичного значення набуває подальше вдосконалення конструкцій ковшових норій різних типів, зокрема обладнання з відцентровим способами розвантаження, як найбільш продуктивної транспортної системи елеваторного обладнання.

Мета дослідження полягає в удосконаленні складових технологічного процесу транспортування зерна сільськогосподарських культур ковшовими вертикально розташованими норіями з відцентровим типом розвантаження

шляхом аналізу закономірностей руху зернового матеріалу по внутрішній поверхні ковша та траєкторій вильоту при розвантаженні.

Результати досліджень

Відомо, що за типом розвантаження норії поділяють на пристрої з гравітаційним, гравітаційно-відцентровим та відцентровим розвантаженням [1,3]. В основу зазначеної класифікації покладено співвідношення сили тяжіння зерна та відцентрової сили в зоні розвантаження.

Щодо аналітичної моделі, то тип розвантаження ковшів норії пропоновано визначати також за допомогою полюсної відстані – відстані від точки перетину рівнодіючої сили тяжіння та відцентрової сили з вертикальною віссю симетрії норії до центру обертання верхнього барабану норії [4].

Результати аналізу фотовідеофіксації динаміки відцентрового розвантаження ковшової норії при транспортуванні зерна (рис. 1) свідчать про утворення прямого та зворотного сипу. Даний ефект виникає внаслідок удару шарів зерна об внутрішню поверхню верхнього кожуха норії під дією домінуючої відцентрової сили.



Рис. 1 – Явище зворотного сипу зерна ковшової норії (https://www.facebook.com/watch/?v=727221748017015)

У такому випадку пошарове сходження та викидання зерна з ковша норії під дією відцентрової сили має геометричну фігуру стрічкоподібної форми з явно вираженим заднім загином у вигляді дуги. При цьому кожна зернина рухається в напрямку розвантажувального жолобу по дузі.

Відповідно, за умови проєктування оптимальних геометричних форм верхнього кожуха ковшової норії траєкторії вильоту зерна у більшості випадків

повинні дотикатися та ковзати по внутрішній поверхні такого кожуха, а якщо спостерігається удар, то геометрична конструкція кожуха норії потребує подальшого вдосконалення.

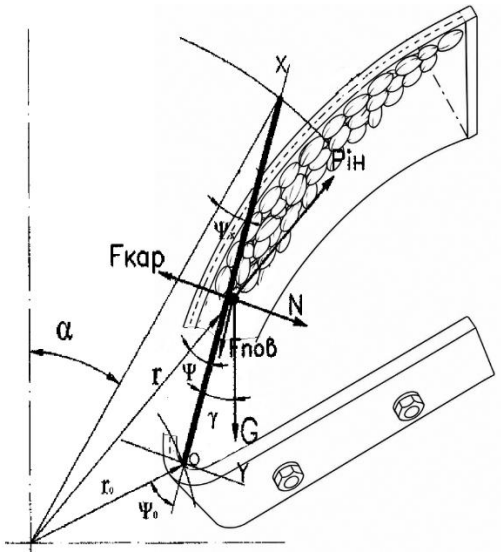


Рис. 2 – Розрахункова схема сил, що діють на зернину наприкінці колового руху у верхній частині зернової норії

Теоретичні аспекти щодо законів руху зерна, як матеріальної точки по внутрішній поверхні ковша норії (рис. 2) за умови, що зерно рухається під дією відцентрової сили, яка переважає всі інші складові сил, в тому числі – силу тяжіння, можливо описати рівнянням виду[1,3]:

$$m(d^2xDt^2) = m^2x - km\,dxdt - 2fm\,dxdt - [mg\cos(-t) + fmg\sin(-t)]$$

Аналітичний розв'язок цієї задачі дає змогу отримати криві руху зерна вздовж внутрішньої стінки ковша під час відцентрового розвантаження. Проте розраховані траєкторії мають значне розсіювання, зумовлене варіативністю параметрів: питома вага зерна та показники, що безпосередньо впливають на неї; відносна вологість зерна; біологічний склад зерна; коефіцієнти внутрішнього тертя шарів зерна та тертя відносно робочих поверхонь ковшів та кожуху норії; біологічні особливості зерна, що формують коефіцієнти аеродинамічного опору.

Наприклад, для насіння соняшнику — однієї з найпроблемніших щодо транспортування культур — питома вага варіюється в межах 3700–4600 Н/м³, а коефіцієнт аеродинамічного опору — 0,59–0,95 [7,8]. Для зерна озимої пшениці відповідні показники складають 6860–8330 Н/м³ та 0,42–0,47, а для кукурудзи — 6664–7056 Н/м³ та 0,162–0,236 відповідно [7,8]

Існує низка математичних моделей, що описують динаміку руху зерна в ковшових норіях під час відцентрового розвантаження на основі механіки сипучих середовищ [5,8,9], але і в такому випадку маємо значене розсіювання кінцевих результатів розрахунків.

Висновки.

1. За результатами спостережень як негативний чинник визначено удар зерна об внутрішню поверхню кожуха ковшової норії під час відцентрового розвантаження. Зазначене явище належить до основних недоліків роботи ковшових елеваторів, деструктивний вплив якого посилюється зі зростанням продуктивності сучасних зернових норій (до 1000 т/год) та висоти транспортування (до 50 м).

2. Більшість відомих математичних моделей, що описують кінематику та динаміку руху зерна в ковшових норіях під час відцентрового розвантаження, мають суттєве розсіювання кінцевих результатів розрахунків траєкторій вильоту зерна.

3. У випадку транспортування ковшовими норіями зерна різних сільськогосподарських культур рекомендовано застосовувати адаптивну систему, параметри якої коригуються відповідно до його біологічних, фізичних та аеродинамічних властивостей.

Список використаних джерел

1. Bilovod O., Kelemesh A., Burlaka O., Tarasenko D. Study of the features of grain transportation of various agricultural crops by scraper elevators of combine harvesters. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 2 (129). С. 98–105. DOI: https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-2-12

2. Krajewski S., Žukovskis J., Gozdowski D., Cieśliński M., Wójcik-Gront E. Evaluating the Path to the European Commission's Organic Agriculture Goal: A Multivariate Analysis of Changes in EU Countries (2004–2021) and Socio-Economic Relationships. *Agriculture*. 2024. 14 (3), 477. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14030477

3. Бурлака О. А., Яхін С. В. Підвищення ефективності роботи скребкових елеваторів з відцентровим типом розвантаження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 195–200. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.31

4. Лук'янов І. М. Обґрунтування кінематичних і конструкційних параметрів зернових елеваторів з відцентровим розвантаженням : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.05 / Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2016. 21 с.

5. Нєдовесов В. І., Матухно Н. В. Причини пошкодження зерна скребково-ланцюговим елеватором зернозбирального комбайна. Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук. праць НАУ. Київ : Вид-во НАУ, 1999. Т. 6. С. 145–150.

6. Алієв Е. Б. Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с. URL: https://dspace.dsau.dp.ua/server/api/core/bitstreams/7973241b-7f3f-40c4-aabe-0e26771effa1/content (дата звернення: 21.09.2026)

7. Пархоменко М. Д., Кондратець В. О., Пархоменко Ю. М. Визначення математичної моделі розрахунку коефіцієнту опору повітря та критичної

швидкості зерна при його транспортуванні висівним апаратом. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград : КНТУ, 2008. Вип. 21. С. 105–109. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/1386 (дата звернення: 21.09.2026)

8. Кирпа М. Я., Скотар С. О., Лупітько О. І., Рослик О. О. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насіннєвих сумішей на прикладі кукурудзи. Зернові культури. 2017. Т. 1, № 1. С. 45–50. URL: https://institut-zerna.com/library/magazine1/11.pdf (дата звернення: 21.09.2026)

УДК 621.18:662.6

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОТЛІВ НА БІОМАСІ

Лапенко Г.О., Лапенко Т.Г., Білашов Д.Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Зростання вартості традиційних енергоресурсів та необхідність підвищення енергетичної незалежності зумовлюють розширення використання біомаси як відновлюваного джерела енергії. До енергетичної біомаси належать деревина та її відходи, солома зернових культур, стебла кукурудзи й соняшнику, а також спеціально вирощувана енергетична рослинна сировина. За сучасними оцінками, біоенергія забезпечує десятки ексаджоулів енергії щорічно та має значний потенціал подальшого використання [1].

Одним із найбільш поширених способів енергетичного використання біомаси є її безпосереднє спалювання у котельних установках з отриманням теплової енергії. Водночас конструктивні елементи котлів працюють в умовах високих температур, контактують із продуктами згоряння та золою, а залежно від виду біомаси можуть піддаватися інтенсивному окисненню, відкладенню зольних компонентів і високотемпературній корозії.

Особливістю біомаси є значна варіативність її хімічного складу. Зокрема, рослинні палива можуть містити калій, натрій, хлор, сірку та інші мінеральні компоненти, які під час горіння переходять до складу газоподібних продуктів і зольних відкладень. Наявність лужних хлоридів, особливо KCl, може прискорювати корозійні процеси на поверхні металевих елементів котла [2, 3]. Тому вибір матеріалу для виготовлення конструктивних елементів котла повинен здійснюватися з урахуванням не лише механічних властивостей сталі, а й її жаростійкості, опору високотемпературному окисненню та корозійної стійкості.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження процесів корозії металевих поверхонь у котлах на біомасі показують, що особливо несприятливими є умови, за яких на поверхні теплообмінних елементів утворюються відкладення, збагачені калієм і хлором. Хлорвмісні сполуки здатні порушувати захисний оксидний шар металу та прискорювати процеси високотемпературної корозії [2]. Для рослинних видів біомаси, зокрема соломи та трав'янистих культур, ця проблема може бути більш вираженою через підвищений вміст лужних металів і хлору.

Важливим напрямом підвищення довговічності котельного обладнання є використання високолегованих аустенітних хромонікелевих сталей. Підвищений вміст хрому забезпечує формування захисного оксидного шару, тоді як нікель сприяє стабільності аустенітної структури та збереженню механічних властивостей матеріалу за підвищених температур. Наукові дослідження підтверджують доцільність застосування високолегованих матеріалів для елементів котлів, що працюють в умовах високотемпературного корозійного впливу [3, 4].

До жаростійких хромонікелевих сталей належать, зокрема, сталі 10Х23Н18, 20Х23Н18 та їх міжнародний аналог AISI 310/310S. Для AISI 310S характерним є вміст хрому приблизно 24–26 % та нікелю 19–22 %, що забезпечує високу жаростійкість і стійкість до окиснення. Сталь AISI 310S належить до аустенітних жаростійких сталей та використовується, зокрема, для високотемпературного обладнання, теплообмінників і парових котлів [5].

Мета досліджень. Метою роботи є обґрунтування вибору матеріалу та технології виготовлення конструктивних елементів котла для спалювання біомаси з урахуванням високотемпературного впливу, корозійної активності продуктів згоряння та вимог до довговічності обладнання.

Результати досліджень. Враховуючи особливості спалювання різних видів біомаси, визначено основні фактори, які необхідно враховувати під час вибору матеріалу конструктивних елементів котельного обладнання: неоднорідність хімічного складу палива; наявність корозійно-активних компонентів у продуктах згоряння; високі та змінні температурні навантаження; утворення зольних відкладень на поверхні теплообмінних елементів; необхідність забезпечення достатньої жаростійкості та тривалого ресурсу експлуатації.

Аналіз властивостей сталей 10Х23Н18, 20Х23Н18 та AISI 310S показав їх придатність для виготовлення окремих конструктивних елементів котельного обладнання, що працюють за підвищених температур. Сталі 10Х23Н18 та 20Х23Н18 містять орієнтовно 22–25 % Cr та 17–20 % Ni, а AISI 310S – близько 24–26 % Cr і 19–22 % Ni. Саме підвищений вміст хрому та нікелю забезпечує необхідний комплекс жаростійких властивостей.

Особливу увагу приділено сталі AISI 310S як матеріалу для конструктивних елементів котла. За даними виробника Outokumpu, ця сталь належить до аустенітних жаростійких сталей, характеризується високою стійкістю до окиснення та високотемпературної корозії і застосовується, зокрема, у конструкціях парових котлів та іншому високотемпературному

обладнанні. Для відповідної марки наведено типові значення вмісту Cr близько 25,5 % та Ni близько 19,1 %.

Вибір AISI 310S також пов'язаний із необхідністю забезпечення технологічності виготовлення конструкції. Застосування листового матеріалу та трубних заготовок із жаростійкої сталі дозволяє виготовляти камери згоряння, екрани, елементи газоходів та інші деталі котла з використанням зварних з'єднань. При цьому необхідно контролювати температурний режим зварювання, оскільки експлуатаційні властивості зварного з'єднання безпосередньо впливають на довговічність конструкції.

За результатами проведених лабораторних та виробничих досліджень елементів котла підтверджено доцільність використання жаростійких хромонікелевих сталей. Для досліджуваних зразків оцінювали вплив матеріалу на експлуатаційні характеристики конструкції та поведінку металу за підвищених температур. Отримані результати узгоджуються з літературними даними щодо ефективності застосування високохромистих аустенітних сталей у високотемпературному обладнанні.

Водночас встановлено, що вибір матеріалу не може розглядатися окремо від умов експлуатації. Навіть високохромисті сталі можуть зазнавати пошкодження внаслідок дії хлоридів та лужних компонентів зольних відкладень. Зокрема, експериментальні дослідження показують, що KCl може істотно прискорювати високотемпературну корозію металів, а підвищення температури посилює цей процес [2, 4]. Тому для підвищення ресурсу котла доцільно поєднувати правильний вибір матеріалу з контролем режиму горіння, очищенням теплообмінних поверхонь та недопущенням надмірного накопичення зольних відкладень.

Таким чином, технологія виготовлення конструктивних елементів котла повинна передбачати комплексне забезпечення вимог до матеріалу, способу формування деталей, виконання зварних з'єднань і контролю якості готової конструкції.

Висновки.

Встановлено, що використання біомаси як палива створює специфічні умови експлуатації котельного обладнання, пов'язані з високою температурою, утворенням зольних відкладень та наявністю корозійно-активних компонентів, зокрема сполук хлору та лужних металів.

Обґрунтовано доцільність застосування жаростійких аустенітних хромонікелевих сталей для відповідальних конструктивних елементів котлів на біомасі. Підвищений вміст Cr і Ni забезпечує необхідну жаростійкість, опір окисненню та працездатність матеріалу за високих температур.

AISI 310S може розглядатися як перспективний матеріал для виготовлення високотемпературних конструктивних елементів котла, зокрема камер згоряння та елементів, що безпосередньо контактують із гарячими продуктами згоряння.

Список використаних джерел

1. Daaboul J., Moriarty P., Honnery D. Green Energy Prospects of Electricity Generated from Short-Rotation Woody Crops - Quantifying the EROIg of Bioelectricity. Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 23. 16430. DOI: 10.3390/su152316430.

2. Nielsen H. P., Frandsen F. J., Dam-Johansen K., Baxter L. L. The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers. Progress in Energy and Combustion Science. 2000. Vol. 26, No. 3. P. 283–298. DOI: 10.1016/S0360-1285(00)00003-4.

3. Pardo N., Duro L., Martyushev S. et al. Corrosion in biomass combustion: A materials selection analysis and its interaction with corrosion mechanisms and mitigation strategies. Corrosion Science. 2013. Vol. 76. P. 6–26. DOI: 10.1016/j.corsci.2013.07.013.

4. Corrosion of superheater materials by alkali chloride salt mixtures – The role of the presence of molten phase. Fuel. 2023. Vol. 344. 128063. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.128063.

УДК 633.11:631.527.6

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОСІВНИХ МАШИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В СИСТЕМІ PRECISION PLANTING

Лисенко О. А.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує підвищення точності технологічних операцій, раціонального використання ресурсів і стабільного формування врожаю. Особливої актуальності ці вимоги набувають за впровадження технологій точного землеробства, зокрема Precision Planting, ефективність якої безпосередньо залежить від технічного стану посівної машини. Під час експлуатації зношуються робочі органи та вузли сівалки, змінюються їхні функціональні параметри, погіршуються точність висіву і якість формування посівного ложа. Навіть незначні відхилення можуть спричиняти нерівномірність розміщення насіння, зміну глибини загортання та погіршення умов проростання. Тому необхідне наукове обґрунтування параметрів технічного стану посівних машин і чинників, які слід контролювати під час експлуатації. У вихідному звіті об’єктом визначено посівні машини та аплікатори рідких добрив Precision Planting, а предметом – їх технічний стан, налаштування та робочі параметри [1].

Аналіз останніх досліджень. Одним із напрямів підвищення ефективності землеробства є conservation agriculture, що ґрунтується на мінімізації механічного обробітку ґрунту, збереженні рослинних решток та використанні обґрунтованих сівозмін [2–4]. До таких технологій належать No-till, Strip-till і

Mini-till. За наведеними у звіті даними, площа ріллі з використанням conservation agriculture у світі зросла приблизно до 200 млн га, а в Україні у 2023 р. становила близько 0,9 млн га. За цих умов посівна машина повинна забезпечувати якісне формування борозни, стабільну глибину висіву та рівномірне розміщення насіння за наявності пожнивних решток [5–7].

Якість сівби визначається властивостями насіння, забезпеченням вологою й киснем, температурою, глибиною загортання, станом посівного ложа та рівномірністю просторового розміщення рослин. Конструкція сошника повинна забезпечувати мінімально необхідне порушення ґрунту, достатній контакт насіння з ґрунтом, рівномірне прикриття та, за потреби, ущільнення дна борозни. Надмірне розпушування може збільшувати втрати вологи, а потрапляння рослинних решток у борозну погіршує контакт насіння з ґрунтом [8–10].

Мета досліджень – обґрунтування параметрів технічного стану посівних машин під час експлуатації в системі Precision Planting для забезпечення рівномірного висіву насіння, точного внесення рідких добрив, сприятливих умов проростання і розвитку рослин, а також зменшення ризику пошкодження обладнання та втрат посівного матеріалу.

Результати досліджень. Аналіз матеріалів показав, що контроль технічного стану посівної машини доцільно пов’язувати не лише з працездатністю окремих деталей, а зі здатністю всього агрегату стабільно підтримувати задані технологічні параметри. До основних належать точність висіву, стабільність глибини загортання, положення і стан сошників, якість формування та ущільнення посівного ложа, рівномірність роботи висівного апарата, а також стан робочих органів, що контактують із ґрунтом. У системах No-till особливе значення має робота в умовах пожнивних решток, накопичення яких у зоні сошника може порушувати формування борозни та якість загортання насіння.

Окремо проаналізовано систему FurrowJet для внесення рідких добрив під час сівби. Вона містить центральне сопло та два бокові крила, завдяки чому добриво розподіляється у три зони відносно насіння: безпосередньо в борозну та з обох боків від неї. Такий принцип локалізації поживних речовин створює умови для їх доступності на ранніх етапах розвитку і під час формування кореневої системи. Ефективність FurrowJet залежить від правильності встановлення, положення крил, стану сошників, чистоти сопел і колектора, а також справності ущільнювача насіння Keeton Mini-Tail [1].

Встановлено, що технічний стан FurrowJet необхідно оцінювати комплексно. Зношування крил змінює їх положення відносно борозни та може впливати на розподіл рідини; неправильний кут установлення здатний спричиняти затягування насіння або зміну геометрії борозни. Зношування дискових сошників також змінює положення вузла та може призводити до накопичення ґрунту, погіршення роботи ущільнювача і пошкодження елементів. Нерівномірність висівного агрегату може спричиняти неправильне положення крил і нестабільне внесення рідких добрив.

До критичних експлуатаційних чинників належать забруднення та засмічення сопел. Технічне обслуговування повинно передбачати регулярний

контроль чистоти сопел і колектора, промивання системи впродовж сезону, очищення після завершення робіт, контроль фільтрів і трубопроводів. Після демонтажу необхідно закривати відкриті рідинні лінії. Не допускається рух заднім ходом з опущеними крилами FurrowJet, оскільки це може спричинити пошкодження вузла та засмічення форсунок [1].

Таким чином, технічний стан посівної машини доцільно оцінювати як сукупність взаємопов'язаних параметрів: точності висіву; стабільності глибини загортання; стану та положення сошника; якості формування посівного ложа; рівномірності роботи висівного апарата; стану робочих органів; справності системи внесення рідких добрив; герметичності та чистоти рідинних магістралей; стану форсунок, колектора, крил і ущільнювача насіння. Такий підхід дає змогу перейти від контролю окремих несправностей до комплексної оцінки готовності агрегату до точного висіву.

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність комплексного контролю технічного стану посівних машин у системах точного землеробства. Основними критеріями є стабільність глибини та рівномірності висіву, якість формування посівного ложа, стан сошників і робочих органів та відповідність налаштувань умовам роботи.

2. Встановлено, що технології No-till та інші ґрунтозахисні системи підвищують вимоги до посівних машин через мінімальне порушення ґрунту та наявність пожнивних решток. Технічний стан робочих органів безпосередньо впливає на якість розміщення насіння та умови його проростання.

3. Аналіз конструкції FurrowJet показав, що система забезпечує внесення рідких добрив у три зони відносно насіння, але її ефективність залежить від правильного встановлення, регулювання та технічного обслуговування. Критичними є стан крил, сошників, сопел, колектора, фільтрів, трубопроводів та ущільнювача Keeton Mini-Tail.

4. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальне визначення граничних відхилень параметрів технічного стану та їх впливу на рівномірність висіву, стабільність глибини загортання і точність внесення рідких добрив.

Список використаних джерел

1. Aliiev, E., Aliieva, O., Bezverkhniy, P., & Luts, P. (2026). Simulation of an improved seed delivery system for a pneumatic grain seeder. Machinery & Energetics, 17(1), 9–19. https://doi.org/10.31548/machinery/1.2026.09

2. Conservation Agriculture. (2024). Conservation agriculture. FAO. https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/

3. Stanojevic, A. B. (2021). Conservation agriculture and its principles. Annals of Environmental Science and Toxicology, 5(1), 18–22. https://doi.org/10.17352/aest.000031

4. Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Deckers, J., & Sayre, K. D. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? In R. Lal & B. A. Stewart

(Eds.), Food security and soil quality (pp. 137–208). CRC Press. https://doi.org/10.1201/EBK1439800577-7

5. Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of conservation agriculture. International Journal of Environmental Studies, 76, 29–51. https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927

6. Цилюрик, О. І. (2019). Система мульчувального обробітку ґрунту в Північному Степу [Monograph]. Новий Світ.

7. Яропуд, В. М., Говоруха, В. Б., & Дацюк, Д. А. (2023). Експериментальні дослідження дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіннєвих культур. Техніка, енергетика, транспорт АПК, 3(122), 43–52. https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-3-5

8. Ференц, Р. В., Васильковська, К. В., & Кірчук, Р. В. (2024). Огляд конструкцій пневматичних висівних апаратів сівалок. Сільськогосподарські машини, 50, 104–112. https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1387

УДК 631.3:621.891

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Ляшенко С. В., Ситник О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Роботоздатність ґрунтообробних машин значною мірою визначається технічним станом їх робочих органів, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтом та сприймають значні механічні й абразивні навантаження. Одним із основних чинників погіршення експлуатаційних характеристик є зношування робочих поверхонь, що супроводжується зміною геометричних параметрів, форми та стану різальних елементів. У результаті поступового спрацювання порушуються встановлені режими технологічного процесу, зростає енергоємність роботи агрегатів, знижується продуктивність та погіршується якість обробітку ґрунту.

Особливу небезпеку становить зношування різальних робочих органів – лемешів, культиваторних лап, дисків та інших ґрунторізальних елементів. Для них характерними проявами є затуплення різальної кромки, зміна її профілю та формування затильної фаски. Такі зміни безпосередньо впливають на характер взаємодії робочого органу з ґрунтом і можуть спричиняти збільшення тягового опору, нестабільність глибини обробітку та погіршення якості підрізання рослинних решток і кореневої системи бур'янів.

Небезпека полягає також у тому, що процес спрацювання розвивається поступово, а його початкові прояви часто залишаються непомітними під час звичайного експлуатаційного контролю. Водночас навіть незначна зміна

геометрії робочої поверхні може призвести до істотного погіршення агротехнічних показників. Тому встановлення закономірностей розвитку зношування та своєчасне визначення граничного стану робочих органів є важливою умовою забезпечення ефективної експлуатації ґрунтообробної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях процес зношування ґрунтообробних деталей розглядається як результат складної взаємодії металевої поверхні з абразивними частинками ґрунту. Основними механізмами руйнування поверхневого шару є мікродряпання, мікрорізання, пластична деформація та викришування матеріалу. Інтенсивність цих процесів залежить від властивостей ґрунту, його вологості, гранулометричного складу, швидкості руху агрегату, навантаження на робочий орган, властивостей матеріалу та параметрів його зміцнення.

Профіль зношеної різальної кромки доцільно оцінювати за граничними станами, оскільки саме вони дають можливість встановити момент, коли подальша експлуатація робочого органу починає супроводжуватися неприпустимим погіршенням технологічних та економічних показників. Для лемешів, лап та інших різальних елементів визначальними критеріями можуть бути величина затуплення, товщина різальної кромки, геометрія затильної фаски та зміна кута загострення.

За результатами наведених у літературі досліджень [1-3], збільшення товщини зношеного леза плужного лемеша до 5-7 мм призводить до істотного погіршення експлуатаційних характеристик. Нерівномірність глибини обробітку може зростати до 62-68 %, тяговий опір – до 153-156 %, витрата пального – до 125-138 %, тоді як продуктивність орного агрегату знижується до 52-59 % від початкового рівня. Наведені залежності свідчать, що технічний стан різальних елементів безпосередньо пов'язаний не лише з довговічністю машини, а й із результатами технологічного процесу.

Зміна геометричних параметрів робочих органів може залишатися непомітною протягом значного періоду експлуатації. Її наслідки проявляються через порушення заданої глибини обробітку, нерівномірність поверхні поля, недостатнє підрізання бур'янів, погіршення кришення ґрунту та підвищення його ущільнення. Зокрема, встановлено, що збільшення середньоквадратичного відхилення глибини обробітку на 1 см може супроводжуватися зниженням урожайності на 3,5-5 %. Зменшення фактичної глибини оранки з 26-28 до 20-22 см, за наведеними даними, здатне збільшити забур'яненість посівів у 2,5 раза та знизити врожайність приблизно на 20 % [4].

Окрему проблему становить зношування зубів борін та інших робочих органів, що забезпечують подрібнення й вирівнювання ґрунтового шару. Втрата початкової форми таких деталей погіршує якість кришення, сприяє формуванню нерівномірного мікрорельєфу поля та створює передумови для зниження врожайності.

Таким чином, традиційний контроль технічного стану за зовнішніми ознаками не завжди забезпечує своєчасне виявлення небезпечного ступеня

спрацювання. Це обґрунтовує необхідність розроблення методів діагностування, автоматизованого контролю та прогнозування граничного стану робочих органів за геометричними й функціональними параметрами.

Важливим напрямом досліджень є підвищення зносостійкості матеріалу робочих органів. Для виготовлення змінних деталей ґрунтообробних машин традиційно застосовують конструкційні сталі 40, 40Х, 65Г, Л53 та термічне зміцнення шляхом загартування і відпуску. При цьому твердість робочої поверхні зазвичай становить 39-48 HRC, а міцність – близько 900-1000 МПа. Однак такі характеристики не завжди забезпечують необхідну довговічність деталей при роботі в абразивному середовищі. Інтенсивність спрацювання може досягати 0,3 мм/км, а фактичне напрацювання серійних робочих органів нерідко у 1,5-3,0 раза менше нормативного [5-7].

Перспективним напрямом підвищення довговічності є застосування поверхневого зміцнення. За результатами сучасних досліджень, для забезпечення належної працездатності змінних деталей бажано отримувати міцність основного металу на рівні 1500-1800 МПа, ударну в'язкість не менше 0,8-1,25 МДж/м² та твердість поверхневого шару близько 65-70 HRC. Відносна зносостійкість зміцненого матеріалу при цьому повинна у 2,5-3,0 раза перевищувати показник еталонної сталі 45 у відпаленому стані.

До технологій, здатних забезпечити необхідне поєднання міцності, твердості та зносостійкості, належить плазмове загартування. Його застосування дає можливість локально зміцнювати робочі поверхні деталей, не змінюючи суттєво властивостей їх основного металу. За наведеними даними, використання такого способу зміцнення може забезпечити збільшення ресурсу робочих органів у 1,7-2,5 раза та скорочення витрат на технічне обслуговування і ремонт на 40–50 %.

Мета. Метою дослідження є встановлення впливу зношування робочих органів ґрунтообробних машин на якість виконання технологічного процесу, енергетичні та експлуатаційні показники машинно-тракторних агрегатів, а також обґрунтування напрямів підвищення зносостійкості та довговічності різальних елементів шляхом удосконалення конструктивних і технологічних рішень їх зміцнення.

Для досягнення поставленої мети необхідно оцінити характер зміни геометричних параметрів робочих органів у процесі експлуатації, визначити критичні значення їх спрацювання, проаналізувати вплив затуплення різальних кромок на якість обробітку ґрунту та обґрунтувати ефективні способи підвищення абразивної зносостійкості деталей.

Результати досліджень. Процес зношування робочих органів доцільно розглядати як один із визначальних факторів зміни функціонального стану ґрунтообробної машини. У міру збільшення напрацювання відбувається поступове відхилення фактичної геометрії деталей від номінальної. Для різальних робочих органів це проявляється насамперед збільшенням товщини леза, зменшенням його гостроти, формуванням затильної фаски та зміною профілю поперечного перерізу.

Зростання ступеня затуплення збільшує площу контакту робочого органу з ґрунтом. Унаслідок цього зростає опір його переміщенню, збільшуються енерговитрати та навантаження на елементи агрегату. Одночасно погіршується здатність різальної кромки проникати в ґрунт і якісно підрізати кореневу систему бур'янів. Для культиваторних лап це особливо важливо, оскільки збереження гостроти леза є необхідною умовою забезпечення суцільного підрізання бур'янів на заданій глибині.

Погіршення технічного стану робочих органів також спричиняє нестабільність глибини обробітку. Нерівномірність заглиблення окремих елементів агрегату призводить до неоднакових умов розвитку рослин на різних ділянках поля, порушує вимоги до агротехнологічних операцій і в кінцевому підсумку може спричиняти втрати врожаю. Отже, зношування деталей має розглядатися не лише як технічна проблема, а і як фактор, що безпосередньо впливає на економічний результат сільськогосподарського виробництва.

З урахуванням цього контроль стану робочих органів повинен здійснюватися не тільки за очевидними зовнішніми дефектами, а й за кількісними параметрами їх геометричного та функціонального стану. Доцільним є застосування систем діагностування, які дають можливість визначати ступінь затуплення, величину зносу та відхилення форми від номінальних значень. Такий підхід дозволяє своєчасно виконувати заточування, заміну або відновлення деталей до моменту виникнення значних агротехнічних та економічних втрат.

Одним із найбільш ефективних шляхів збільшення ресурсу є підвищення поверхневої твердості та зносостійкості робочого шару при збереженні достатньої міцності й ударної в'язкості основного металу. Традиційне об'ємне загартування не завжди дозволяє сформувати необхідний комплекс властивостей, оскільки підвищення твердості може супроводжуватися зростанням крихкості та ризику руйнування деталей.

Застосування плазмового загартування є перспективним технологічним рішенням, оскільки забезпечує локальне зміцнення найбільш навантажених ділянок робочого органу. При цьому поверхневий шар набуває високої твердості та підвищеної стійкості до абразивного руйнування, тоді як серцевина деталі зберігає необхідну пластичність та опір ударним навантаженням. За наведеними результатами, ресурс таких деталей може бути збільшений у 1,7-2,5 раза, а витрати на технічне обслуговування і ремонт – зменшені на 40-50 %.

Отже, ефективна експлуатація ґрунтообробних агрегатів повинна ґрунтуватися на комплексному підході, який передбачає оптимізацію конструкції робочого органу, вибір зносостійкого матеріалу, застосування прогресивних методів поверхневого зміцнення та своєчасне діагностування фактичного ступеня спрацювання.

Висновки. Зношування робочих органів ґрунтообробних машин є одним із ключових факторів, що визначає якість виконання технологічних операцій, енергоємність та економічну ефективність експлуатації машинно-тракторних агрегатів.

Найбільш критичними проявами зношування різальних робочих органів є затуплення леза, збільшення його товщини та формування затильної фаски. Ці зміни спричиняють зростання тягового опору, нерівномірність глибини обробітку, підвищення витрати пального та погіршення якості підрізання бур'янів.

Встановлено, що збільшення товщини зношеного леза плужного лемеша до 5-7 мм може призводити до зростання нерівномірності глибини обробітку до 62–68 %, тягового опору – до 153-156 %, витрати пального – до 125-138 %, а також зниження продуктивності орних агрегатів до 52-59 %.

Традиційні конструкційні сталі та способи термічного зміцнення не завжди забезпечують необхідну довговічність робочих органів в умовах інтенсивного абразивного зношування. Тому перспективним напрямом є формування поверхневого шару з підвищеною твердістю та зносостійкістю при збереженні міцності й ударної в'язкості основного металу.

Плазмове загартування є перспективним способом поверхневого зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Його застосування, за наведеними даними, здатне збільшити ресурс деталей у 1,7-2,5 раза та скоротити витрати на технічне обслуговування і ремонт на 40-50 %.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення кількісних залежностей між геометричними параметрами зношених робочих органів, режимами їх експлуатації та якістю ґрунтообробних операцій, що дасть змогу обґрунтувати граничні значення спрацювання і створити ефективну систему прогнозування ресурсу деталей.

Список використаних джерел

1. Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Захаров А. В. Дослідження характеру зношування культиваторних лап. Технічний прогрес в АПВ: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 9-10 травня 2023 р. Харків: ДБТУ, 2023. С. 270-272

2. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.04 / Бобрицький Віталій Миколайович. Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2007. 182 с.

3. Козаченко О. В., Каденко В.С., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В. Вплив параметрів різальних елементів на інтенсивність зношування лап культиваторів. Інженерія природокористування. 2017. № 1. С. 63-67.

4. Дідора В.Г., Смаглій О.Ф., Ермантраут Е. Р., Гудзь В. П., Мойсеєнко, В.В., Манько Ю.П., Храпійчук П.П. (2013). Методика наукових досліджень в агрономії.

5. Войтюк Д.Г., Деркач О.П., Гуменюк Ю.О., Марус О.А., Чуба В.В. Машини та обладнання для рослинництва: навчальний посібник з виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». К: ФОП Ямчинський О.В., 2022. 388 с.

6. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спеціальність 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / К. В. Борак. – К., 2021. – 53 с.

7. Borak K. Increasing the longevity and wear resistance of share-shelf operating devices of cultivating machines. TEKA. An International Quarterly Journal 41 on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2020. Vol. 20. № 1. P. 41–48.

УДК 631.363:621.926.2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РІЗАННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ ДИСКОВО-РІЗАЛЬНИМИ МАШИНАМИ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ

Ляшенко С. В., Яценко В. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Подрібнення деревини дисково-різальними машинами є складним механіко-технологічним процесом, ефективність якого визначається закономірностями взаємодії різального інструмента з деревиною. На відміну від традиційних способів механічної обробки деревини, під час роботи дисково-різальних машин відбувається зрізування відносно товстого шару матеріалу, товщина якого може становити 12–15 мм. Це зумовлює специфічний характер формування стружки, розподілу напружень у деревині та енергетичних витрат на процес різання.

Особливості руйнування деревини значною мірою залежать від орієнтації волокон відносно траєкторії руху ножа, кінематичних параметрів робочого органу та геометричних характеристик різального елемента. Тому встановлення закономірностей процесу різання та визначення раціональних режимів роботи дисково-різальних машин є актуальним завданням для підвищення їх продуктивності та енергетичної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес подрібнення деревини дисково-різальними машинами можна розглядати як складне поєднання поздовжнього, торцевого та поперечного різання. Під час роботи машина здійснює одночасне переміщення деревини відносно дискового ножа та заглиблення різальної крайки в матеріал. Унаслідок цього характер руйнування деревини відрізняється від процесів, що реалізуються під час звичайного поздовжнього або поперечного різання [1, 2].

Геометричне положення гілки відносно диска характеризується кутами нахилу у вертикальній та горизонтальній площинах. Зона безпосереднього контакту деревини з диском має еліптичну форму і може розглядатися як поверхня різання, по якій переміщуються різальні крайки ножів.

Заглиблення ножа супроводжується поступовим наростанням нормальних і дотичних напружень у шарі деревини, що відокремлюється. Особливе значення має напружений стан у площинах, паралельних напрямку волокон, оскільки зв'язки між окремими волокнами деревини в цьому напрямку є відносно слабкими. Одночасно в зоні контакту передньої поверхні ножа з деревиною виникають значні напруження зминання [3].

Мета. Метою роботи є встановлення основних закономірностей процесу різання гілок дерев дисково-різальними машинами, визначення впливу кінематичних параметрів робочого органу на процес подрібнення та оцінювання продуктивності й питомих енергетичних витрат машини.

Результати досліджень. У процесі заглиблення ножа в деревину напруження в матеріалі зростають до досягнення граничного значення міцності. Руйнування відбувається в тому перерізі, де відповідне напруження першим досягає критичного рівня. Найбільш імовірною зоною початкового руйнування є площина, орієнтована паралельно волокнам деревини. У результаті цього відбувається розділення деревини на окремі елементи стружки.

Довжина утворюваних частинок значною мірою визначається кінематичними параметрами дисково-різального робочого органу, зокрема частотою його обертання та швидкістю подачі матеріалу. Отже, забезпечення необхідної фракційності подрібненого матеріалу може здійснюватися насамперед шляхом раціонального вибору режимів роботи машини (рис. 1).

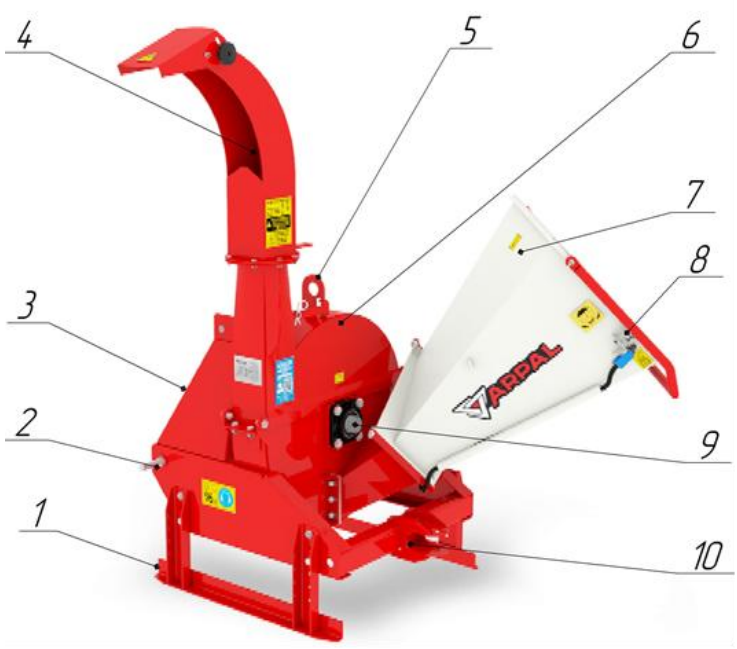


Рис. 1. Конструктивна схема подрібнювача Арпал МК-120ТР для перероблення гілок деревини на паливну тріску: 1 – несуча рама; 2 – механізм триточкового навішування; 3 – хвостовик для приєднання карданного вала типу Т5; 4 – вивантажувальний патрубок; 5 – транспортний кронштейн; 6 – робочий барабан; 7 – завантажувальний бункер; 8 – важіль аварійного відключення; 9 – підшипниковий вузол; 10 – причіпна серга.

Для оцінювання експлуатаційних показників дисково-різальної машини розглянуто режим роботи від ВВП трактора з частотою обертання 540 об/хв. Передача обертального руху на робочий диск здійснюється через редуктор із передаточним числом 1:2,78, унаслідок чого частота обертання диска з ножами становить близько 1500 об/хв.

За товщини гілок до 50 мм та зазначеної частоти обертання робочого диска продуктивність машини становить до 3,5 т/год, а питома витрата енергії – близько 0,85 кВт·год/т. Отримані показники характеризують взаємозв'язок між режимом роботи дисково-різального механізму, пропускною здатністю машини та енергоємністю процесу подрібнення.

Для подальшого оцінювання паливної ефективності прийнято такі характеристики енергетичного засобу: потужність ВВП трактора – 45 кВт, коефіцієнт корисної дії трансмісії – 0,92, питома витрата палива – 0,22 кг/(кВт·год). З урахуванням ККД трансмісії доступна потужність на приводі робочого органу становить:

$$P = 45 \cdot 0{,}92 = 41{,}4 \text{ кВт}.$$

За питомої енергоємності процесу 0,85 кВт·год/т питома витрата палива на подрібнення гілок становитиме:

$$g = 0{,}85 \cdot 0{,}22 = 0{,}187 \text{ кг/т}.$$

При продуктивності 3,5 т/год годинна витрата палива дорівнюватиме:

$$G = 0{,}187 \cdot 3{,}5 = 0{,}655 \text{ кг/год}.$$

Таким чином, за прийнятих режимів роботи розрахункова питома витрата палива становить близько 0,187 кг/т, а годинна – 0,655 кг/год. Це свідчить про можливість використання показника питомої витрати палива як одного з критеріїв оцінювання ефективності режимів роботи дисково-різальної машини.

Подальше підвищення ефективності процесу доцільно пов'язувати з оптимізацією частоти обертання диска, швидкості подачі гілок, геометричних параметрів ножів та їх кількості. При цьому раціональний режим має забезпечувати необхідну якість подрібнення за мінімально можливої енергоємності процесу.

Висновки. Теоретичний аналіз процесу різання показав, що дисково-різальне подрібнення гілок характеризується складним поєднанням поздовжнього, торцевого та поперечного руйнування деревини. Визначальним механізмом відокремлення частинок є руйнування матеріалу в площинах, близьких до напрямку волокон, під дією напружень, що виникають під час заглиблення ножа.

За частоти обертання ВВП 540 об/хв, передаточного числа редуктора 1:2,78 та частоти обертання диска близько 1500 об/хв продуктивність машини за товщини гілок до 50 мм може досягати 3,5 т/год при питомій енергоємності 0,85 кВт·год/т. Розрахункова питома витрата палива становить 0,187 кг/т, а годинна – близько 0,655 кг/год. Перспективним напрямом подальших досліджень є оптимізація кінематичних і конструктивних параметрів дисково-різального механізму за критеріями продуктивності, якості подрібнення та мінімізації енергетичних витрат.

Список використаних джерел

1. Lyashenko, S., Gorbenko, O., Kelemesh, A., Kalinichenko A., Stebila, J., Patyka, V. Non-Waste Technology for Utilization of Tree Branches. *Applied Sciences (Switzerland),* 2022, 12 (17), 8871. https://doi.org/10.3390/app12178871

2. Warguła, Ł. The concept of a wood chopping machine with a mechanical overload system ensuring continuity of work. *Mater. Mech. Eng. Technol*. 2021, 3, 21–26. Available online: http://www.mmet.kz/archives/144 .

3. Łukasz, W.; Mateusz, K.; Bartosz, W.; Piotr, K. Energy consumption of the wood size reduction processes with employment of a low-power machines with various cutting mechanisms. *Renew. Energy* 2022, 181, 630-639.

УДК 631.35

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖАТОК ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ УРОЖАЮ

Ляшенко С. В., Власенко Ю. Е.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Соняшник є однією з основних олійних культур, а ефективність його виробництва значною мірою визначається рівнем механізації збиральних процесів. Особливістю механізованого збирання соняшнику є підвищена чутливість стиглих кошиків до механічного впливу. У фазі повної стиглості насіння легко відокремлюється від кошика під дією ударних, вібраційних та тертьових навантажень, що зумовлює значну частину втрат урожаю безпосередньо в зоні роботи жатки.

Використання зернових жаток, не пристосованих до біологічних та фізико-механічних властивостей рослин соняшнику, може супроводжуватися пошкодженням кошиків, осипанням насіння, втратами невідібраних кошиків та надходженням надмірної кількості стеблової маси до молотильно-сепарувальної системи. Тому актуальним завданням є удосконалення конструкції спеціалізованих жаток, спрямоване на забезпечення стабільного захвату рослин, мінімізацію механічного впливу на кошики та підвищення повноти збирання врожаю.

Особливої уваги потребує узгодження конструктивних параметрів жатки з режимами роботи зернозбирального комбайна, оскільки збільшення робочої швидкості, з одного боку, підвищує продуктивність агрегату, а з іншого – може посилювати динамічний вплив робочих органів на кошики соняшнику та збільшувати втрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження технології збирання соняшнику розглядають жатку як ключову ланку взаємодії системи «рослина – машина – середовище». Основними напрямами удосконалення є

зниження втрат від осипання насіння, запобігання падінню кошиків, забезпечення якісного зрізування стебел та підвищення адаптивності робочих органів до різних умов вирощування [1, 2].

За конструктивним виконанням жатки можуть відрізнятися способом захвату та подачі рослин, конструкцією подільників, стеблепідіймачів, різального апарата і транспортуючих робочих органів. Рядкові жатки потребують точного дотримання напрямку руху агрегату відносно рядків посіву, тоді як безрядкові жатки суцільного зрізу характеризуються більшою незалежністю від схеми посіву та ширини міжрядь [3].

Перспективним напрямом є використання подовжених стеблепідіймачів і спеціальних напрямних поверхонь, які забезпечують плавне введення рослин у зону зрізування. Важливим конструктивним рішенням є також відокремлення кошика від основної частини стебла перед його надходженням до транспортуючої системи. Це дає змогу зменшити кількість зеленої та грубої стеблової маси, яка потрапляє до комбайна[4].

Сучасні дослідження також підтверджують необхідність оптимізації конструкції подільників, захватних і транспортуючих механізмів, оскільки саме на етапах контакту рослини з жаткою формуються значні частини механічних втрат. Перспективними вважаються системи, здатні адаптувати параметри роботи до стану посіву, а також використання засобів контролю втрат та автоматичного регулювання положення жатки [5].

Водночас недостатньо дослідженим залишається комплексний вплив конструктивних параметрів спеціалізованої жатки та режимів роботи комбайна на втрати насіння соняшнику. Це обумовлює необхідність подальшого обґрунтування конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на забезпечення мінімального травмування кошиків за необхідної продуктивності збирального агрегату.

Мета. Метою роботи є обґрунтування конструктивно-технологічних рішень щодо удосконалення жатки для збирання соняшнику, спрямованих на зниження втрат насіння, підвищення повноти захвату рослин та забезпечення стабільної роботи зернозбирального комбайна за заданої продуктивності.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити основні джерела втрат у зоні роботи жатки; проаналізувати вплив конструкції подільників, стеблепідіймачів, різального та транспортуючого апаратів на якість збирання; обґрунтувати раціональні режими взаємодії робочих органів жатки з рослинами соняшнику.

Результати досліджень. Аналіз конструктивних схем жаток показує, що основними зонами формування втрат є зона введення рослин у жатку, зона зрізування кошиків та ділянка їх подальшого транспортування до похилої камери комбайна [6,7]. Тому ефективність роботи жатки доцільно оцінювати не лише за її пропускною здатністю, а й за величиною втрат насіння, повнотою захвату кошиків, якістю зрізування та кількістю стеблової маси, що надходить до комбайна.

Для зменшення втрат у процесі введення рослин доцільним є застосування подовжених вузьких стеблепідіймачів із плавними напрямними поверхнями.

Така конструкція забезпечує поступове розділення рослинної маси та зменшує ймовірність удару робочих органів по кошиках. Додатковою перевагою є можливість спрямування осипаного насіння до транспортуючого органу, що потенційно зменшує його втрати на поверхні поля.

Важливим конструктивним елементом є протягувальний зубчастий вал, розташований у зоні різального апарата. Його функціональне призначення полягає у спрямованому переміщенні стебел донизу та забезпеченні відокремлення кошика від основної частини стебла. У результаті зменшується кількість стеблової маси, яка надходить до молотильно-сепарувальної системи, що може сприяти підвищенню її пропускної здатності та стабільності роботи.

Різальний апарат повинен забезпечувати швидке та чисте зрізування стебел без значного ударного впливу на кошик. Застосування високошвидкісних приводів ножа, зокрема планетарного типу, дає можливість підвищити частоту різання та зменшити нерівномірність руху ножа. Водночас параметри різального апарата необхідно узгоджувати з діаметром і міцністю стебел, швидкістю руху агрегату та станом посіву.

Окремого значення набуває транспортуюча система жатки. Надмірна швидкість обертання шнека, жорсткий контакт його робочих поверхонь із кошиками та нерівномірна подача рослинної маси можуть спричиняти додаткове осипання насіння. Тому конструкція транспортуючого механізму повинна забезпечувати безперервне переміщення зрізаної маси за мінімальної кількості ударних і стискаючих впливів.

Результати аналізу сучасних конструкцій свідчать, що підвищення робочої швидкості не повинно розглядатися як самостійний чинник збільшення продуктивності. За надмірної швидкості зростає інтенсивність контакту робочих органів із рослинами, що може підвищувати рівень осипання насіння. Отже, раціональний режим роботи необхідно визначати як компроміс між продуктивністю агрегату та допустимим рівнем втрат.

Підбір ширини захвату жатки для збирання соняшнику під комбайн має відповідати потужності двигуна та пропускній здатності комбайна. Неправильний вибір може призвести або до перевитрати пального, або до збільшення втрат через перевантаження молотильно-сепарувальної системи (див. таблицю 1.)

Таблиця 1. – Рекомендована ширина захвату жатки залежно від потужності та типу комбайна

Параметр ширини робочої смуги жатки	Мінімально доцільна потужність енергетичного засобу	Орієнтовні моделі зернозбиральних комбайнів
4,6–5,0 м	До 150 к. с.	невеликі моделі Claas
6,0–7,4 м	150–250 к. с.	John Deere (серії W, T), Case IH
9,1 м і більше	Від 300 к. с.	Потужні роторні комбайни (Lexion, Case IH Axial-Flow, New Holland CR)

Таким чином, удосконалення жатки має здійснюватися комплексно та передбачати узгодження геометричних параметрів подільників і стеблепідіймачів, кінематичних параметрів різального апарата, швидкості руху агрегату та частоти обертання транспортуючих робочих органів.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивних систем регулювання положення жатки та параметрів її робочих органів залежно від висоти рослин, нахилу кошиків, густоти посіву, ступеня стиглості та фактичного рівня втрат. Сучасний науковий підхід передбачає поєднання конструктивної оптимізації з технологіями машинного зору, сенсорного контролю та автоматичного регулювання.

Висновки. 1. Встановлено, що основними чинниками формування втрат насіння соняшнику в зоні роботи жатки є ударна та вібраційна взаємодія робочих органів із стиглими кошиками, неповний захват рослин, падіння зрізаних кошиків і надмірне надходження стеблової маси до комбайна.

2. Обґрунтовано доцільність використання спеціалізованої конструкції жатки з подовженими стеблепідіймачами, удосконаленим різальним апаратом та протягувальним робочим органом, що забезпечують більш плавне введення рослин у зону зрізування та зменшення механічного впливу на кошики.

3. Визначено, що зниження втрат урожаю повинно забезпечуватися комплексним узгодженням конструктивних і кінематичних параметрів жатки з режимом роботи зернозбирального комбайна. При цьому підвищення робочої швидкості має обмежуватися умовою збереження допустимого рівня втрат.

4. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальне визначення залежностей втрат насіння від швидкості руху агрегату, частоти обертання робочих органів, висоти зрізування та фізико-механічних властивостей рослин соняшнику, а також на розроблення адаптивних систем контролю і регулювання параметрів жатки..

Список використаних джерел

1. Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: *навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд*, 2025. 166.с. ISBN 978-617-8737-18-4

2. Жуйков О. Г., Середюк В. Ю. Технологія вирощування соняшника Clearfield® – світова історія та вітчизняний досвід. *Аграрні інновації.* 2024. № 23. С. 68–74. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.23.10.

3. Думич В., Труш Г. Дослідження безрядкових жниварок для збирання соняшника. *Новини АПК*. 2024.

4. Налобіна, О. О., Н. В. Васильчук, and П. Г. Івашко. «Експериментальне дослідження взаємодії стебел соняшнику із роторами жатки.» Сільськогосподарські машини 46 (2021): 58-69. DOI: https://doi.org/10.36910/acm.vi46.493

5. Stepanenko, S., Aneliak, M., Kuzmych, A., Kustov, S., & Lysaniuk, V.. Improving the efficiency of harvesting sunflower seed crops. INMATEH-Agricultural Engineering, 67(2), 2022. 331. DOI: https://doi.org/10.35633/inmateh-67-34

6. Jin, W., Ding, Y., Bai, S., Zhang, X., Yan, J., & Zhou, X. (2021). Design and experiments of the reel board header device for an oil sunflower harvester. Nongye

Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 37(3), 27-36. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.03.004/

7. Liu, Y., Luo, C., Zong, W., Huang, X., Ma, L., & Lian, G. Optimization of clamping and conveying device for sunflower oil combine harvester header. Agriculture, 11(9), 2021. Article number 859. doi: 10.3390/agriculture11090859

УДК 631.31

УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИННО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У РОСЛИННИЦТВІ НА ОСНОВІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ТА МІНІМІЗАЦІЇ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Ляшенко С. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність сучасного аграрного виробництва значною мірою визначається технічним рівнем машинно-технологічного забезпечення, відповідністю сільськогосподарської техніки прийнятим технологіям вирощування культур і раціональністю використання виробничих ресурсів. Упровадження інтенсивних технологій рослинництва зумовлює необхідність застосування високопродуктивних машинно-тракторних агрегатів, здатних забезпечувати своєчасне та якісне виконання польових робіт з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей регіону. Водночас модернізація технічного парку повинна передбачати не лише підвищення продуктивності, а й мінімізацію енергетичних витрат, збереження структури ґрунту та підтримання його природної родючості [1].

Однією з актуальних проблем механізованого землеробства є надмірне ущільнення ґрунтового профілю під дією ходових систем важкої сільськогосподарської техніки. Збільшення продуктивності сучасних машин супроводжується зростанням їхньої маси та навантаження на ґрунт, що може спричиняти погіршення його водно-повітряного режиму, зниження інфільтраційної здатності й ускладнення розвитку кореневої системи рослин. Використання широкопрофільних шин, здвоєних коліс і гусеничних рушіїв дає змогу частково знизити негативний вплив машин на ґрунтове середовище, проте не усуває проблему повністю [2].

За таких умов особливої актуальності набуває вдосконалення технологій обробітку ґрунту, спрямованих на скорочення кількості проходів машинно-тракторних агрегатів, зменшення механічного навантаження на орний і підорний горизонти та збереження рослинних решток на поверхні поля. Перспективним напрямом розв'язання зазначених завдань є поєднання ресурсозберігальних систем землеробства з удосконаленими конструкціями ґрунтообробних робочих органів, здатних забезпечувати якісне розпушування ґрунту за мінімального порушення його структури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до технічного забезпечення рослинництва ґрунтуються на адаптації машинно-технологічних комплексів до конкретних виробничих умов, підвищенні енергоефективності польових операцій і впровадженні технологій, орієнтованих на збереження ґрунтових ресурсів. Важливим чинником вибору технічних засобів є можливість їх ефективного використання за різних систем обробітку ґрунту, з урахуванням типу ґрунту, вирощуваних культур і природно-кліматичних характеристик регіону.

Практичний досвід аграрних підприємств Полтавської області, зокрема господарств агрохолдингу «Астарта-Київ», свідчить про використання глибокого розпушування ґрунту на глибину до 0,6 м із залученням комбінованих агрегатів виробництва BEDNAR і HORSCH. Незважаючи на значну енергоємність цієї операції, її застосування в інтенсивному рослинництві розглядається як один зі способів усунення надмірного ущільнення глибоких шарів ґрунту та поліпшення умов розвитку культурних рослин.

Альтернативним напрямом є впровадження технологій No-till і Strip-till, які передбачають скорочення інтенсивності механічного обробітку та кількості проходів техніки по полю [3].

Для господарств із меншим рівнем технічного забезпечення перспективним є застосування спеціалізованих робочих органів, зокрема голчастих дисків і різально-розпушувальних елементів, призначених для локального руйнування ущільнених слідів рушіїв. Їх використання дає змогу поліпшити структурний стан ґрунту та сприяти відновленню його водно-повітряного режиму без проведення суцільного глибокого обробітку.

Окремий напрям досліджень пов'язаний зі створенням торсіонно-ударних розпушувачів, робочі елементи яких здійснюють обмежені коливальні переміщення під час взаємодії з ґрунтом [4]. Теоретичні й експериментальні дослідження залежності ступеня розпушування від жорсткості торсіонного елемента засвідчують можливість підвищення ефективності кришіння ґрунту за відповідного вибору конструктивних параметрів. Водночас потребують оцінювання вплив таких робочих органів на ступінь збереження стерні, енергетичні показники та протиерозійну стійкість обробленої поверхні.

Таким чином, подальше вдосконалення ґрунтообробної техніки має ґрунтуватися на комплексному оцінюванні якості розпушування, збереження рослинних решток і ресурсомісткості технологічного процесу.

Мета. Метою досліджень є обґрунтування перспективних машинно-технологічних рішень для ресурсозберігального обробітку ґрунту, спрямованих на зменшення негативного впливу ходових систем сільськогосподарської техніки, підвищення ефективності розпушування ущільнених шарів і збереження протиерозійних властивостей ґрунтового покриву на основі застосування вдосконалених торсіонно-ударних робочих органів.

Результати досліджень. Порівняльне оцінювання теоретичних і експериментальних залежностей ступеня розпушування ґрунту від жорсткості торсіонного елемента за заданих конструктивних параметрів робочого органу показало, що досліджуваний показник перебував у межах 80,12–89,8 %. Зі

збільшенням жорсткості торсіона спостерігалося підвищення ступеня розпушування. Похибка результатів польових експериментів становила 4,77 %, що характеризує узгодженість отриманих експериментальних даних із досліджуваними теоретичними залежностями.

Дослідження процесу взаємодії різально-кришильних елементів із ґрунтом засвідчили, що їхній вплив поширюється не лише вздовж напрямку руху агрегату, а й у поперечній площині. За зменшення глибини обробітку скорочується товщина шару, залученого до деформації, унаслідок чого посилюється локальна дія робочих елементів на ґрунтові агрегати. У результаті формується більш подрібнена структура обробленого шару, що створює передумови для поліпшення його водно-повітряного режиму (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд поперечного перерізу ґрунту

Встановлено, що ударна взаємодія ножа з ґрунтом сприяє утворенню додаткових тріщин і руйнуванню переущільнених слідових смуг. Це свідчить про потенціал запропонованої конструкції щодо підвищення якості кришіння ґрунту за відповідних умов експлуатації.

Під час випробувань на стерньових фонах зернових культур установлено, що конструктивні особливості робочих органів істотно впливають на збереження рослинних решток після проходу агрегату. За результатами порівняння експериментальних ділянок використання робочих органів з активними ножами забезпечувало підвищення показника збереження стерні на 15–17 % порівняно з варіантом із нерухомо закріпленими ножами (рис. 2).

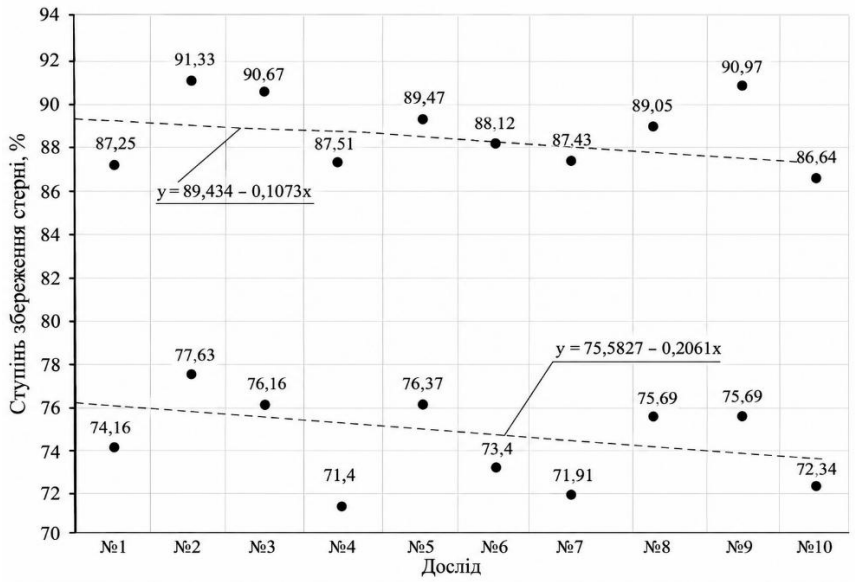


Рис. 2. Залежності ступеня збереження стерні після обробітку ґрунту агрегатом на глибину 0,2 м, при швидкості руху 2 м/с, що укомплектований: –●– - торсіонно-ударними робочими органами; —♦— - нерухомо закріпленими робочими органами.

Найкращі результати за цим показником продемонстрував торсіонно-ударний ніж, здатний здійснювати обмежені коливання у вертикальній площині.

Збереження стерні на поверхні поля має важливе агротехнічне значення, оскільки рослинні рештки зменшують безпосередній вплив опадів на ґрунт, обмежують поверхневий стік і сприяють захисту земель від водної та вітрової ерозії. Отже, поєднання ефективного кришіння ґрунту зі збереженням стерньового покриву є важливою передумовою вдосконалення ресурсозберігальних технологій обробітку.

Одержані результати обґрунтовують доцільність подальшого вдосконалення торсіонно-ударних робочих органів із урахуванням жорсткості пружного елемента, кінематичних параметрів ножа, глибини обробітку та фізико-механічних властивостей ґрунту. Для остаточного визначення раціональних режимів експлуатації необхідно додатково оцінити тяговий опір, витрати пального, продуктивність агрегату та стабільність агротехнічних показників за різних ґрунтових умов (рис. 3).

Практичне значення проведеного дослідження полягає в обґрунтуванні можливості використання торсіонно-ударного розпушувача ґрунту для покращення водно-повітряного режиму ґрунту, підвищення інфільтраційної здатності й покращення розвитку кореневої системи рослин. Застосування розроблених робочих органів дає змогу зменшити твердість ґрунту по слідових коліях обробленого шару в 1,6–1,9 раза порівняно із серійними аналогами та підвищити показник збереження стерні на 15–17 % залежно від конструкції ножів. Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення ґрунтообробних машин, вибору раціональних параметрів їхніх робочих органів і розроблення ресурсозберігальних технологій обробітку ґрунту зокрема по слідових коліях. Практичне впровадження запропонованих рішень сприятиме

поліпшенню структури ґрунту, збереженню рослинних решток на поверхні поля та посиленню протиерозійного захисту сільськогосподарських угідь.



Рис. 3. Загальний вигляд агрегату з торсіонно-ударними робочими органами в польових умовах

Висновки. Ефективність сучасного рослинництва залежить від узгодженого застосування високопродуктивної сільськогосподарської техніки, ресурсозберігальних технологій і конструктивних рішень, спрямованих на збереження родючості ґрунту. Одним із пріоритетних завдань є обмеження його переущільнення внаслідок багаторазового руху важких машинно-тракторних агрегатів. Упровадження технологій No-till і Strip-till, скорочення кількості проходів техніки та використання локальних розпушувальних пристроїв створюють передумови для зменшення механічного навантаження на ґрунтовий профіль. Вибір конкретного технологічного рішення повинен визначатися виробничими умовами, властивостями ґрунту й економічною доцільністю.

Експериментально встановлено, що ступінь розпушування ґрунту за досліджуваних параметрів торсіонного елемента становив 80,12–89,8 %, а похибка польових експериментів дорівнювала 4,77 %. Збільшення жорсткості торсіона супроводжувалося підвищенням ступеня розпушування в дослідженому діапазоні параметрів.

Застосування торсіонно-ударного розпушувача забезпечувало зменшення твердості ґрунту по слідових коліях обробленого шару в 1,6–1,9 раза порівняно із серійним робочим органом. Водночас використання активних ножів підвищувало показник збереження стерні на 15–17 % порівняно з нерухомо закріпленими ножами, що є важливим чинником підтримання протиерозійного захисту ґрунту.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення раціональних конструктивних і кінематичних параметрів торсіонно-ударного розпушувача, оцінювання його енергоємності та визначення ефективності роботи за різних типів ґрунту й умов експлуатації. Комплексне врахування

якісних, енергетичних та агротехнічних показників дасть змогу обґрунтувати доцільність застосування розроблених робочих органів у ресурсозберігальних технологіях рослинництва.

Список використаних джерел

1. Бондаренко В., Сидоренко В. «Стан технічного потенціалу аграрних підприємств та динаміки оновлення парку техніки», Економіка та суспільство, (2026) (84). doi: 10.32782/2524-0072/2026-84-72.

2. Hrushetskyi S., Oleksiyko, S., Tykhy, M.. Modern running system of management of agricultural machinery. International Science Journal of Engineering & Agriculture, (2024) 3(6), 61–74. https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240306.06

3. Кисіль О. Експлуатація машин та обладнання. Електронний посібник [Електронний ресурс] : елект. посіб. для студ. тех. вузів. / О. Кисіль, та ін. Київ : ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти»,2025.382с. https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/Ekspluatacyiy%20mahun%20i%20obladnanniy/Golovna/Golovna.htm.

4. Ляшенко С., Ляшенко С.. Проектування торсіонно-ударного розпушувача ґрунту. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючого засобу для безполицевого обробітку ґрунту в умовах Полтавського регіону. Монографія 2-е вид. Перероблене і доповнене. Полтава: ПП «Астрая», 2024. 204с. Ум. др. арк. 12,2. (2,44 авторського аркуша на співавтора). ISBN 978-617-8231-72-9.
https://drive.google.com/file/d/1rALZEYqKAcfDPQaiAuysy89OkoAF4r6d/view.

УДК 631.361.8

АНАЛІЗ ПОТОКУ МАТЕРІАЛІВ В ШНЕКОВОМУ КОНВЕЄРІ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Макаров В. І., Паньків М. Р.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Постановка проблеми. Шнекові конвеєри використовуються з часів давньогрецької та єгипетської цивілізацій для перекачування води проти сили тяжіння [1]. У наш час вони широко використовуються для транспортування та обробки твердих матеріалів у аграрній, харчовій, гірничій промисловості тощо.

Незважаючи на їх значну важливість у промисловості, бракує фундаментального розуміння роботи шнекових конвеєрів, заснованих на принципах континуальної механіки. Причини цього полягають у тому, що геометрія потоку є складною, надійні моделі континууму для щільних твердих матеріалів все ще перебувають на стадії розробки, а матеріали, що транспортуються, значно різняться за формою та фізичними властивостями (від сухих матеріалів до насичених рідинних матеріалів, від дрібних до грубих матеріалів).

Аналіз останніх досліджень. Як наслідок, більшість попередніх спроб вивчення проблеми використовували обчислювальні методи на основі частинок, щоб зрозуміти швидкість потоку як функцію швидкості обертання шнека, об'ємного рівня заповнення матеріалу, нахилу шнека до горизонтальної площини [2], величини сил між зв'язними частинками матеріалу [3] тощо

Мета дослідження. Розроблення моделі, яка заснованої виключно на механіці шляхом ув’язування витрат потоку матеріалу зі швидкістю обертання шнека без спрощення складності геометрії системи.

Результати досліджень. Спрощена модель, запропонована Робертсом (1999) для встановлення зв’язку між витратою матеріалу у гвинтовому конвеєрі та частотою його обертання, замінює складну геометрію конвеєра моделлю плунжера або штовхача. Виток гвинта зводиться до його проєкції на площину, перпендикулярну до осі гвинта, а саме до кільцевого диска. Цей диск ковзає вздовж вала гвинта, переміщуючи матеріал усередині циліндричного корпусу на відстань, що дорівнює кроку гвинта T за час, що відповідає періоду обертання гвинта.

Відповідне рівняння для визначення витрати потоку Q матеріалу має такий вигляд

$$W = v\pi\left(r_b^2 - r_s^2\right)Tn, \tag{1}$$

де v – частка твердої фази; n – кількість обертів шнека, об/с; r_b, r_s — радіуси циліндра та вала шнека відповідно.

Слід зазначити, що внаслідок обертання шнека всередині гвинтового конвеєра матеріал повинен мати також азимутальну швидкість на додаток до осьової складової.

Однак сама лише дія кільцевого диска, передбачена в цій моделі, не може надати матеріалу жодного обертального руху. Крім того, потік матеріалу, що описується рівнянням (1), є монотонною функцією кроку шнека. Проте за умови надзвичайно великого кроку (відносно радіусів вала й циліндра), коли витки шнека розташовуються паралельно його осі, обертання шнека має надавати матеріалу лише азимутальну швидкість, тоді як осьовий потік має дорівнювати нулю.

Найважливішим припущенням є те, що все матеріальне середовище приймається як суцільний потік, який ковзає всередині гвинтового каналу у відповідь на обертання шнека.

Припущення про те, що матеріал усередині конвеєра рухається як суцільна пробка, дозволяє нам розглядати елемент, що простягається до поверхонь шнека та циліндра, на відміну від нескінченно малого елемента.

Розглянемо клиноподібний елемент із кутовою шириною $d\theta$ (зображений на рис. 1), лівою та правою межами якого є передня та задня сторони витка шнека, а верхньою та нижньою – поверхні циліндра та вала відповідно.

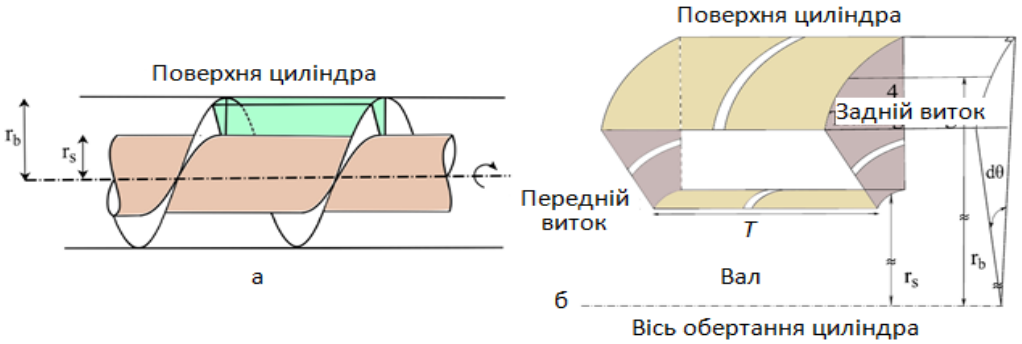


Рис. 1. Схема: а – розташування елемента (виділеного зеленим кольором), обраного для аналізу балансу кількості руху; б – збільшене зображення розглядуваного елемента

Перевага такого елемента полягає в тому, що силами, які діють на чотири його грані, є сили тяги безпосередньо з боку поверхонь шнека та циліндра. Однак сила тяги загалом може змінюватися вздовж цих поверхонь.

Тому ми розглядаємо елементарні ділянки на кожній із цих поверхонь (показані на рис. 1 як білі смуги), у межах яких сила тяги вважається постійною. Під час обертання шнека цей елемент ковзає гвинтовим каналом і зрештою виштовхується назовні.

Поверхня витка гвинта математично описується сімейством гвинтових ліній із заданим кроком.

Через різницю у відстанях, які гвинтові лінії на різних радіусах долають у тангенціальному напрямку при переміщенні вздовж осі на величину кроку T, кут нахилу гвинтової лінії α (кут між локальною дотичною до гвинтової лінії та азимутальним напрямком) змінюється залежно від r.

Для гвинтової лінії, розташованої на витку на відстані r від осі гвинта, кут нахилу $\alpha(r)$ пов'язаний із кроком T та радіусом r таким чином

$$\tan\alpha\left(r\right)=T/2\pi n. \tag{2}$$

Нехай радіус-вектор точки на гвинтовій лінії, що відповідає повороту на кут θ (радіан) від опорної осі, має такий вигляд

$$\overrightarrow{P_h}\left(r,\theta\right)=r\hat{e}_r-\frac{T\theta}{2\pi}\hat{e}_z. \tag{3}$$

Вектор, дотичний до гвинтової лінії в цій точці, можна обчислити, просто взявши частинну похідну вектора положення за кутом θ. Отже, вираз для одиничного дотичного вектора $\hat{t}_h\left(r,\theta\right)$ набуває вигляду

$$\hat{t}_h\left(r,\theta\right)=\frac{\partial\vec{T}_h\left(r,\theta\right)}{\partial\theta}\Big/\left|\frac{\partial\vec{T}_h\left(r,\theta\right)}{\partial\theta}\right|=\hat{e}_\theta\cos\alpha-\hat{e}_z\sin\alpha. \tag{4}$$

Аналогічно, одиничний вектор, спрямований під прямим кутом до $\hat{t}_h\left(r,\theta\right)$ (у напрямку проти годинникової стрілки) і розташований на поверхні гвинтового витка, визначається таким чином

$$\hat{s}_h(r,\theta) = \frac{\partial \vec{T}_h(r,\theta)}{\partial r} \Big/ \left| \frac{\partial \vec{T}_h(r,\theta)}{\partial r} \right| = \hat{e}_r . \quad (5)$$

Одиничний вектор, перпендикулярний до локальної поверхні польоту $\hat{n}_h(r,\theta)$ можна отримати шляхом обчислення векторного добутку векторів $\hat{t}_h(r,\theta)$ і $\hat{s}_h(r,\theta)$, які лежать у площині польоту

$$\hat{n}_h(r,\theta) = \hat{t}_h \cdot \hat{s}_h . \quad (6)$$

Підставивши рівняння (4) та рівняння (5) у рівняння (6), отримуємо

$$\hat{n}_h(r,\theta) = \frac{\partial \vec{T}_h(r,\theta)}{\partial \theta} \Big/ \left| \frac{\partial \vec{T}_h(r,\theta)}{\partial \theta} \right| = -\hat{e}_\theta \sin\alpha - \hat{e}_z \cos\alpha . \quad (7)$$

Після врахування швидкості осьового переміщення матеріалу остаточна залежність для визначення витрати потоку Q матеріалу має такий вигляд

$$W = \pi v \omega r_b \frac{\tan\varphi_b \tan\alpha_b}{\tan\alpha_b + \tan\varphi_b} \left(r_b^2 - r_s^2 \right). \quad (8)$$

Висновки. Розроблено просту механічну модель, що ґрунтується на явищі ковзання, викликаного обертанням шнека та яка встановлює зв'язки між осьовою швидкістю матеріалу в повністю заповненому гвинтовому конвеєрі та його геометричними параметрами.

Список використаних джерел

1. Di Maio FP, Di Renzo A. Analytical solution for the problem of frictional-elastic collisions of spherical particles using the linear model. Chemical Engineering Science. 2004. Vol. 59. P. 3461–3475.

2. Kloss Christoph, Goniva Christoph, Hager Alice, Amberger Stefan, Pirker Stefan. Models, algorithms and validation for opensource dem and cfd–dem. Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal. 2014. Vol. 12 (2-3)P. 140–152.

3. Muhlhaus Hans-Bernd, Vardoulakis Ioannis. The thickness of shear bands in granular materials. Geotechnique. 1987. Vol. 37 (3).P. 271–283.

УДК 631.354.2:633.15

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПОШКОДЖЕННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ПІД ЧАС ОБМОЛОТУ

Заєць М. Л., Макарчук О. О.
Поліський національний університет

Постановка проблеми. Механізоване збирання кукурудзи на зерно передбачає виконання низки послідовних операцій, серед яких обмолот є одним із найбільш відповідальних з погляду збереження якості продукції. У

молотильному просторі качани та зернівки взаємодіють із робочими органами в умовах стискання, удару й тертя, унаслідок чого можливі тріщини, сколювання та руйнування зерна. Підвищення пошкодження знижує товарну якість, ускладнює сушіння і безпечне зберігання. Тому актуальним є обґрунтування таких конструктивних і режимних параметрів молотильного пристрою, які забезпечують достатню повноту обмолоту за мінімального механічного травмування зерна [1].

Аналіз останніх досліджень. Узагальнення сучасних досліджень показує, що на якість обмолоту найбільше впливають вологість зерна, частота або лінійна швидкість молотильного барабана, зазор між барабаном і підбарабанням та подача технологічної маси [1]. Встановлено, що зі зміною вологості змінюються модуль пружності, твердість, міцність на стиск і зсув. За результатами досліджень, наведених у [1, 2], мінімальний рівень пошкодження спостерігався за вологості близько 18,3 %, а сприятливий діапазон для обмолоту становив 13,9…27,6 %. Для досліджуваних умов ефективний діапазон лінійної швидкості барабана становив 2,99–7,77 м/с, причому найкращий технологічний ефект отримано за 5,04 м/с [2].

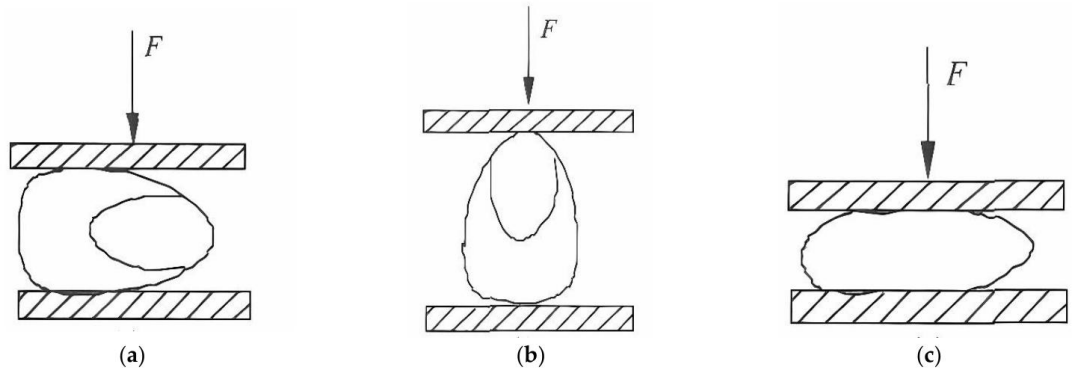


Рис. 1. Схеми прикладання ударного навантаження до зернівки кукурудзи: (a) — на бічну поверхню; (b) — на верхню поверхню; (c) — на черевну частину (за [1])

Мета досліджень. Встановити основні закономірності впливу конструктивно-режимних параметрів молотильних пристроїв на пошкодження зерна кукурудзи та визначити перспективні напрями забезпечення низькопошкоджувального обмолоту.

Результати досліджень. Механічне травмування зернівки залежить не лише від величини прикладеного навантаження, а й від напряму його дії. Експериментальні дані, узагальнені в [1], свідчать про відмінність опору зернівки ударному навантаженню залежно від зони контакту. Найбільш чутливою є черевна частина зернівки, що необхідно враховувати під час вибору форми та матеріалу молотильних елементів. Зі збільшенням швидкості ударної взаємодії зростають контактні сили й напруження, а отже, і ймовірність руйнування зерна.

Величина молотильного зазору визначає інтенсивність стискання та тертя качанів у робочій зоні. Надмірне зменшення зазору збільшує механічне

навантаження і пошкодження, тоді як його надмірне збільшення погіршує повноту обмолоту. За даними огляду [1], у процесі оптимізації поздовжньо-аксіального молотильного пристрою за частоти обертання 384,1 хв$^{-1}$, подачі 8,6 кг/с і зазору 40,5 мм отримано пошкодження 3,49 % при втратах 1,98 %. Інші дослідження гнучкого поздовжньо-аксіального пристрою показали, що за частоти 475 хв$^{-1}$, передатного відношення 1,5 та зазору 45 мм рівень пошкодження становив 3,76 %, а недомолот - 0,52 % [3].

Подальше зниження пошкодження пов’язане з використанням еластичних та комбінованих робочих елементів. Для нового поздовжньо-осьового молотильного барабана за частоти обертання 309,17 хв$^{-1}$, подачі 6,13 кг/с і зазору 35,48 мм отримано пошкодження 1,24 % та недомолот 1,33 % [4]. Наведені результати підтверджують, що раціональний режим формується не одним параметром, а їх узгодженою комбінацією.

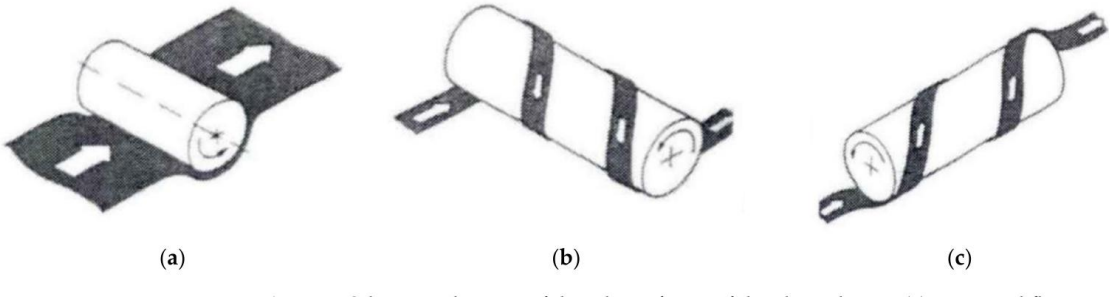


Рис. 2. Основні схеми молотильних пристроїв кукурудзи: (a) — тангенціальна; (b) — поперечно-аксіальна; (c) — поздовжньо-аксіальна (за [1])

За напрямом переміщення качанів молотильні пристрої поділяють на тангенціальні, поперечно-аксіальні та поздовжньо-аксіальні. Тангенціальна схема відзначається відносно невисокими енергетичними витратами, але через коротший час перебування маси в робочій зоні може потребувати додаткової сепарації. Поздовжньо-аксіальна схема забезпечує триваліший контакт матеріалу з робочими органами та суміщення процесів обмолоту і сепарації. Водночас збільшення тривалості обробки потребує точного узгодження частоти обертання ротора, подачі та зазору, щоб уникнути повторних ударів і надмірного тертя [1].

Збільшення подачі технологічної маси підвищує продуктивність, але одночасно зростають навантаження на барабан і підбарабання. За даними досліджень, зі збільшенням подачі від 4 до 12 кг/с момент опору обертанню барабана зростав приблизно від 28,06 до 35,15 Н·м, а сила, що діяла на задню частину підбарабання, збільшувалась приблизно у чотири рази [1]. Це підтверджує необхідність адаптивного регулювання режимів відповідно до фактичної подачі маси.

Перспективним інструментом обґрунтування низькопошкоджувальних режимів є чисельне моделювання. Метод скінченних елементів дає змогу оцінювати локальні напруження і деформації зернівок, а метод дискретних елементів — моделювати їх рух, взаємодію між собою та з поверхнями молотильного пристрою. Поєднання моделювання з лабораторними й польовими

випробуваннями скорочує кількість експериментів і дає можливість цілеспрямовано визначати раціональні параметри конструкції [1, 4].

Висновки. Пошкодження зерна кукурудзи під час обмолоту визначається комплексним впливом вологості, швидкості робочих органів, молотильного зазору, подачі технологічної маси та конструкції молотильних елементів. Найперспективнішими напрямами зниження травмування є застосування аксіальних систем, еластичних робочих елементів, диференційованих режимів обмолоту та адаптивного регулювання параметрів відповідно до властивостей урожаю. Для вибору раціональних режимів доцільно поєднувати експериментальні дослідження з FEM- і DEM-моделюванням.

Список використаних джерел

1. Li X., Zhang W., Xu S., Du Z., Ma Y., Ma F., Liu J. Low-Damage Corn Threshing Technology and Corn Threshing Devices: A Review of Recent Developments. Agriculture. 2023. Vol. 13. 1006. DOI: 10.3390/agriculture13051006.

2. Xiang M.G., Zhang D.L., Li C.N., Bu L.X., Cui M. Analysis of Influence Factor on Corn Threshing Performance. Journal of Agricultural Mechanization Research. 2015. No. 1. P. 188–191.

3. Chen M.Z., Xu G.H., Wang C.X., Diao P.S., Zhang Y.P., Niu G.D. Design and Experiment of Roller-type Combined Longitudinal Axial Flow Flexible Threshing and Separating Device for Corn. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2020. Vol. 51. P. 123–131.

4. Li X., Du Y., Guo J., Mao E. Design, Simulation, and Test of a New Threshing Cylinder for High Moisture Content Corn. Applied Sciences. 2020. Vol. 10. 4925.

УДК 634.11

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В КОНТЕЙНЕРАХ ДЛЯ ПОТОКОВОГО ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ

Мартишко В. М., Гуменюк Ю. О., Деркач О. П.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Вступ та актуальність теми. Сучасне садівництво відіграє стратегічну роль у забезпеченні продовольчої безпеки та має високий експортний потенціал. Проте ефективність галузі суттєво залежить від логістичних процесів у ланцюгу «сад − плодосховище». Рівень механізації збирально-транспортних робіт в Україні залишається низьким, а частка ручної праці − високою. Недосконалість логістики призводить до того, що понад 15–20% вирощеної продукції (зокрема яблук) втрачає товарну якість через механічні пошкодження й недотримання термінів знімальної стиглості.

Традиційні технології передбачають декілька етапів перевантаження плодів, що травмує до 10–15% врожаю. Окрім цього, до 50% бюджету робочого часу транспортних засобів становлять непродуктивні простої під час очікування на завантаження або розвантаження, а частка логістичних витрат у собівартості плодів сягає 30–40%. Впровадження безперевального потокового методу

збирання на базі спеціалізованих причепів-контейнеровозів дозволяє знизити рівень травмування плодів до 2–3% та скоротити втрати стандартної продукції на 10–20%. Водночас виникає потреба чіткого математичного обґрунтування кількості контейнеровозів для синхронізації темпів збирання та розвантаження.

Мета дослідження полягає у розробці математичної моделі функціонування логістичної системи «сад − контейнеровоз − лінія товарної обробки (ЛТО)» на засадах теорії масового обслуговування для встановлення раціонального співвідношення між чисельністю збирачів, кількістю транспорту та потужністю ЛТО.

Матеріали та методи. Методологічну основу дослідження становлять принципи теорії масового обслуговування (ТМО). Технологічний цикл формалізовано як багатофазну систему масового обслуговування (СМО) з обмеженою чергою. Вхідним потоком заявок є заповнені контейнеровози, що прибувають із саду, а каналами обслуговування − приймальні вузли ЛТО плодосховища. Оскільки сумарний потік формується автономно від кількох збиральних ланок, згідно з граничними теоремами теорії ймовірностей, його апроксимовано як найпростіший (пуассонівський) потік із фіксованими параметрами інтенсивності надходження заявок (λ) та інтенсивності обслуговування (μ).

Результати дослідження. Технологічний процес безперевального збирання складається з кількох етапів: механізоване завантаження порожньої тари на контейнеровоз, ручне знімання плодів з двох суміжних рядів саду безпосередньо у контейнери з дискретним просуванням агрегату, транспортування наповненого причепа до ЛТО та його розвантаження. Безперервність забезпечується ротаційною заміною транспорту в міжряддях.

Для моделювання реальних умов функціонування системи прийнято одноканальну СМО з обмеженням місць у черзі на території ЛТО $\delta = 2$. Існування стаціонарного режиму в системі можливе за умови, що коефіцієнт завантаження $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$. Ймовірність вільного стану системи $\rho < 1$ та ймовірність відмови в обслуговуванні $P_{\text{відм.}}$, яка призводить до технологічних простоїв, визначалися за формулами:

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{\lambda+\delta}} \quad \text{та} \quad P_{\text{відм.}} = \frac{\rho^{k+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{k+2})} \tag{1}$$

де k − гранична кількість контейнеровозів у зоні очікування. Загальна потреба в контейнеровозах $k_{\text{заг}}$ розраховувалася з урахуванням часу очікування в черзі та тривалості повного логістичного циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{зб}} + t_{\text{тр.п}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{пус}}, \tag{2}$$

Для проведення аналітичних розрахунків використано такі базові вихідні дані: в саду працює 3 бригади збирачів (по 8 осіб), продуктивність одного

збирача $W_{зб} = 0,2$ т/год т/год (сумарно 4,8 т/год); вантажопідйомність контейнеровоза Q = 2,4 т; відстань транспортування L = 2,5 км при швидкості V = 15 км/год. Було досліджено два варіанти побудови логістичної схеми:

- Варіант I (доставка плодів на ЛТО): Продуктивність ЛТО становить $W_{ЛТО}$ = 8,0 т/год. За таких умов інтенсивність надходження заявок λ = 2 од./год, а інтенсивність обслуговування μ = 3,33 од./год. Коефіцієнт завантаження системи становить ρ = 0,6, а ймовірність вільного стану каналу P_o = 40%. Середня кількість техніки під розвантаженням та в черзі становить 1,5 одиниці, а з урахуванням 2 одиниць на навантаженні в саду, сумарне число техніки k_0 = 3,5 одиниці. Через випадковий характер потоку виникає дефіцит порожньої тари, що спричиняє вимушені простої збирачів тривалістю 15–20 хвилин на одному циклі. Для нівелювання втрат загальну кількість транспорту необхідно збільшити до P_o = 4 одиниці, що зводить час очікування бригад до нуля. Середній час очікування в черзі тут становить 27 хвилин.
- Варіант II (доставка плодів до загального пункту приймання плодосховища): Завдяки підвищенню пропускної здатності лінії розвантаження сховища до Q = 16 т/год, інтенсивність обслуговування збільшується до μ = 5,0 од./год. Це дозволяє знизити коефіцієнт завантаження до ρ = 0,3, а ймовірність вільного каналу зростає до 70%. Середня кількість техніки у черзі скорочується до 0,42 одиниць, а тривалість перебування в черзі зменшується в 3,5 рази − до 8 хвилин. Ризик утворення черг практично зникає.

Дослідження нелінійних графічних залежностей показало, що при досягненні критичного коефіцієнта завантаження ρ > 0,7 довжина черги та час очікування починають зростати експоненціально. Це свідчить про високу чутливість системи до пропускної здатності приймального пункту. ЛТО у Варіанті I виступає «вузьким місцем», де система працює на межі стабільності, тоді як Варіант II має значний запас міцності та гарантує безперебійність процесу.

Висновки.

1. Доведено ефективність застосування математичного апарату теорії масового обслуговування для переходу від емпіричного планування логістичних ланцюгів у садівництві до аналітичного розрахунку параметрів систем «сад − транспорт − ЛТО».

2. Встановлено, що для забезпечення безперервності процесу збирання та недопущення простоїв персоналу в умовах обмеженої потужності ЛТО (8 т/год) оптимальна кількість причепів-контейнеровозів має становити $k_{заг}$ = одиниці. Це мінімізує час очікування тари в саду та обмежує ймовірність формування критичної черги до 8%.

3. Розраховано, що інтенсифікація обслуговування на приймальному пункті до 16 т/год (Варіант II) знижує коефіцієнт завантаження системи до ρ = 0,3, зменшує час очікування транспорту в черзі до 8 хвилин і забезпечує структурну цілісність процесу із коефіцієнтом готовності на рівні 0,95–0,98.

Список використаних джерел

1. Бондаренко П.Г. Особливості технологічного процесу та продуктивність праці при збиранні яблук різних сортів у інтенсивних насадженнях північної Італії. № 1 (2025): Вісник Уманського національного університету садівництва. С. 49 – 56. DOI: https://doi.org/10.32782/2310-0478-2025-

2. Донченко В.С. (2015).Теорія ймовірностей та математична статистика для соціальних наук: навчальний посібник / В. С. Донченко, М. В.-С. Сидоров. – Київ : ВПС Київський університет, 2015. – 400 с.

3. Литвинов, А.Л. (2018).Теорія систем масового обслуговування / А.Л. Литвинов: навч. посібник. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 141 с.

4. Мартишко В., Волянський М. (2019). Обґрунтування параметрів транспортного засобу для потокової технології збирання плодів, *Науковий журнал «Техніка і енергетика»*, 2019, Том. 10, № 3, с.39-44.

5. Привалов І.С., Петренко С.О., Соколов В.О., Ведмідь Д.М. (2012).Тенденції в удосконаленні технічних засобів для потокового збирання плодів в інтенсивних садах \\ Садівництво. – 2012. - Вип. 65.- С.235-240.

6. Сидорчук О.В., Дуганець В.І., Днесь В.І. (2012). Методи узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного їх планування // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. № 1/10. С.35–38.

УДК 631.312

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО МУЛЬЧУВАННЯ ҐРУНТУ КОМБІНОВАНИМИ ЩІЛЮВАЧАМИ-УДОБРЮВАЧАМИ

Мартишко В. М., Кривобок В. В., Деркач О. П.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Вступ та актуальність теми. Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України та глобальні кліматичні трансформації зумовлюють необхідність перегляду базових елементів систем механічного обробітку ґрунту. Багаторічна інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, що базувалася на традиційній відвальний оранці із застосуванням важких машино-тракторних агрегатів (МТА), призвела до системної деградації агрофізичних властивостей чорноземів. На глибині 25–30 см сформувався стійкий переущільнений горизонт − так звана «плужна підошва».

Присутність цього шару кардинально змінює фізико-механічні та біологічні показники родючого шару: блокується капілярна та некапілярна інфільтрація висхідної та низхідної вологи, порушується газообмін, а також обмежує розвиток кореневої системи рослин. Як наслідок, різко зростають ерозійні ризики що зумовлює втрату гумусу та активізацію водної і вітрової дефляції.

Ефективним інженерним рішенням є перехід до ресурсо- та вологозберігаючих систем (Mini-till, Strip-till, No-till, Verti-till), де базовим елементом виступає глибоке безвідвальне розпушування (щілювання). Проте виконання щілювання як окремої технологічної операції призводить до додаткових проходів техніки, перевитрати дизельного палива та додаткового техногенного пресингу на агрофітоценоз.

Перспективним напрямом є суміщення глибокого розущільнення з локально-стрічковим внесенням органічних пористих матеріалів (подрібненої соломи) безпосередньо у сформовану щілину з одночасним розпушенням ґрунтової «подушки» (вертикальне мульчування) за один прохід МТА.

Мета дослідження – обґрунтування доцільності щілювання ґрунту із одночасним вертикальним армуванням нарізаних щілин подрібненими рослинними рештками (соломою).

Результати дослідження. У сучасному землеробстві для боротьби з водною ерозією та дефіцитом продуктивної вологи застосовують різноманітні знаряддя глибокого розпушування: чизельні плуги (наприклад, серія ЧГ-40 від ТОВ «Краснянське СП “Агромаш”»), щілювачі-кротувачі (ЩН-5-40), плоскорізи-щілювачі (ПЩ-3) та закордонні аналоги (PROFORGE MonoMole, Claydon Mole Drainer).

За способом взаємодії з мульчувальним матеріалом існуючі комбіновані машини поділяються на дві групи:

− Агрегати, що здійснюють згрібання неподрібненої соломи у валок над нарізаною щілиною з подальшим її затисканням або запресовуванням дисковими робочими органами;

− Щілерізи-глибокорозпушувачі бункерного типу, що використовують заздалегідь приготований наповнювач, який завантажується в бункер і транспортується в щілину механічним (шнековим, транспортерним) або пневматичним способом.

Головним конструктивно-технологічним недоліком більшості відомих машин (зокрема, базового начіпного аналога ЩЗН-1,5) є незадовільна якість заповнення вертикального профілю щілини. Біомаса зазнає передчасного ущільнення безпосередньо у щілинах або між боковинами робочого органу. Виникають значні сили тертя об стінки щілини, що призводить до «зависання» соломи у верхніх горизонтах та циклічного забивання провідних каналів.

Спроби попереднього пресування соломи до лінійних розмірів, менших за переріз щілини, зумовлюють різке зростання металомісткості та енергоємності конструкції через інтеграцію додаткових вузлів. Окрім цього, за умов високої вологості соломи в осінній період, рослинні рештки зазнають пружної деформації (розклинювання), що повністю блокує технологічний процес.

Внаслідок нерівномірного заповнення профілю відбувається деструкція та передчасне осипання стінок каналу вже на другий рік експлуатації. Це обумовлює необхідність обґрунтування нових параметрів щілювача-удобрювача.

Перевірка гіпотези доцільності щілювання ґрунту із одночасним вертикальним армуванням нарізаних щілин соломою реалізовувалася за допомогою лабораторно-польової установки на базі начіпного чизельного плуга ПЧ-2,5, агрегатованого з енергетичним засобом класу 3.0 (трактор Т-150К). Плуг був модернізований у трикорпусний щілиноріз, адаптований для внутрішньо-ґрунтового закладання солом'яної маси за допомогою спеціальних направляючих кожухів пневматичного типу.

Аналіз отриманих енергетичних та агротехнічних даних засвідчив стійку кореляцію між конструктивними параметрами модернізованого робочого органу та якістю сформованого армованого дренажу. Незначне відхилення фактичної геометрії солом'яного фільтра від розрахункової обумовлене пружною декомпресією біомаси після припинення силової дії з боку диска-котка.

Висновки. Застосування додаткових робочих органів для збору та спрямування соломи зумовила очікуване зростання тягового опору МТА на 12,1% та відповідне підвищення витрати палива на 14,1%. Проте зазначені енергетичні витрати повністю нівелюються суттєвим покращенням водно-фізичного стану ріллі.

Це забезпечило стабільне оптимізоване живлення рослин і зумовило чистий приріст урожайності озимої пшениці на 20,4% (абсолютне збільшення склало 4,15 ц/га приведеного зерна). Армована солом'яна конструкція виконує роль стійкого вертикального фільтра, що запобігає замуленню каналу, пролонгуючи термін ефективної експлуатації дренажної системи до 4–5 років проти 1–2 років у неармованих аналогів.

Список використаних джерел

1. Ветохін В.І., Панов А.І. Деякі тенденції розвитку конструкцій робочих органів для чизельно-полицевого обробітку ґрунту // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2013. – Вип. 17(31), Кн. 1. – С. 92-98.

2. Лінник М.К., Левчук М.С. Перспективи розвитку ресурсозберігаючої техніки для обробітку ґрунту і сівби // Механізація та електрифікація с. г.: Зб. наук. пр. – Вип. 83. – Глеваха, 2000. – С. 95-97.

3. Рожанський О., Боднар О. Доцільність повернення соломи в ґрунт та чинники, що впливають на ефективність цього заходу // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 8(23). – С. 27-33.

4. Томашівський З.М., Іванюк В.Я. Системи обробітку ґрунту в Україні та світі // Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. – Львів, 2014. – С. 156–160.

УДК 631.31

МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ЛЕМІШНО-ЛАПОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Борак К. В.*, *Махов О. А.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Підвищення надійності та довговічності ґрунтообробних машин є важливою умовою зменшення експлуатаційних витрат у рослинництві. Одними з найбільш інтенсивно навантажених елементів таких машин є лемішно-лапові робочі органи, які в процесі роботи безперервно взаємодіють із ґрунтовим середовищем. Їх працездатність значною мірою визначається зносостійкістю матеріалу та здатністю зберігати початкову геометричну форму різальної частини. Аналіз сучасних досліджень показує, що зношування ґрунтообробних робочих органів є складним трибологічним процесом, інтенсивність якого залежить від властивостей матеріалу, характеристик ґрунту, вологості, швидкості руху, глибини обробітку, геометрії робочого органу та характеру його навантаження [1].

Для лемішів плугів і лап культиваторів домінуючим видом пошкодження є абразивне зношування, яке виникає внаслідок відносного переміщення мінеральних частинок ґрунту по металевій поверхні. До найбільш активних природних абразивів належать кварц та інші тверді мінеральні складові піщаної і крупнопилуватої фракцій. Сучасний аналіз досліджень зношування ґрунтообробних знарядь підтверджує, що інтенсивність втрати матеріалу суттєво збільшується зі збільшенням вмісту та розмірів твердих піщаних частинок у ґрунті [2].

Механізм абразивного зношування лемішно-лапових робочих органів доцільно розглядати як сукупність послідовних процесів: контактування абразивної частинки з поверхнею; її вдавлювання в метал під дією нормальної складової навантаження; переміщення вздовж поверхні; пластичного деформування поверхневого шару; утворення рисок і борозен; мікрорізання або відтиснення металу; багаторазового деформування поверхневих виступів; відокремлення частинок металу від основного матеріалу.

Під час переміщення леміша або лапи в ґрунті перед різальною кромкою формується ущільнена зона. Тверді мінеральні частинки в цій зоні притискаються до металевої поверхні значними нормальними силами. Частина абразивних зерен фіксується у ґрунтовій масі та ковзає відносно поверхні робочого органу, що наближає процес до двотільного абразивного зношування. Окремі частинки можуть перекочуватися, змінювати орієнтацію або повторно потрапляти в зону контакту. Польові дослідження культиваторних лап показали можливість вдавлювання та закріплення абразивних частинок безпосередньо в різальній кромці, особливо під час роботи в сухих ґрунтах із підвищеним вмістом кам’янистих включень [3].

Характер взаємодії абразивної частинки з металом насамперед визначається співвідношенням їх твердості, формою та кутом контакту. Коли твердість поверхні робочого органу суттєво нижча за твердість мінерального абразиву, найбільш характерними механізмами є мікрорізання та мікрооранка. У першому випадку гострі виступи абразивних частинок проникають у поверхню та зрізують мікростружку. У другому – матеріал переважно пластично відтискується у боки від траєкторії руху частинки, формуючи характерні борозни та напливи. Під час повторного проходження абразиву ці напливи руйнуються й відокремлюються від поверхні. За підвищеної твердості металу роль пластичної деформації зменшується, однак можуть активізуватися утворення мікротріщин, викришування та відокремлення локальних зміцнених структурних складових [1].

Важливий вплив на процес має вологість ґрунту. Результати польових досліджень лемішів свідчать, що зі збільшенням вологості в багатьох типах ґрунтів інтенсивність їх зношування зменшується. Це пов’язано зі зміною міцності ґрунтового середовища, умов закріплення абразивних частинок та навантаження в зоні контакту. Водночас характер цієї залежності не є універсальним для всіх ґрунтів, зокрема для піщаних, оскільки результат визначається комплексною взаємодією гранулометричного складу, вологості та механічних властивостей ґрунтової маси [4].

Суттєво впливає на механізм зношування також геометрична форма абразивних частинок. Частинки з гострими гранями мають підвищену здатність проникати в поверхневі шари металу та реалізовувати механізм мікрорізання. Під час експлуатації ґрунтообробних машин абразивні зерна також поступово руйнуються, округлюються або змінюють форму внаслідок багаторазових контактів із робочими органами. Дослідження форми абразивних частинок ґрунтів України показали істотні відмінності їх форм-фактора залежно від розмірної фракції та умов знаходження в ґрунтовому профілі. Встановлено, що форма абразиву суттєво впливає на його зношувальну здатність, хоча залежність між окремими геометричними параметрами частинок та загальною абразивністю ґрунту має складний нелінійний характер [5].

Зношування лемішно-лапових робочих органів характеризується значною нерівномірністю розподілу по поверхні. Максимальна інтенсивність спостерігається у зонах, де одночасно реалізуються високий контактний тиск і значна швидкість відносного ковзання ґрунтових частинок. Для лемеша такими ділянками є носок, різальна кромка та прилегла до неї робоча поверхня. Для стрілчастих і плоскорізальних лап найбільше навантажуються носова частина, передні ділянки крил та різальні кромки.

Внаслідок зношування відбувається поступова зміна початкової геометрії робочого органу. Різальна кромка втрачає гостроту, збільшується її товщина, змінюються кути різання та профіль поверхні. Сучасні дослідження з використанням тривимірного сканування підтверджують просторову неоднорідність втрати матеріалу лемішів та показують, що величина об’ємного

зносу окремих лемішів одного плуга може суттєво відрізнятися залежно від їхнього розміщення і локальних умов взаємодії з ґрунтом [5].

Особливістю лемішно-лапових деталей є те, що процес зношування відбувається в умовах постійної зміни навантажень. Абразивна дія супроводжується ударами об тверді включення, циклічним деформуванням, локальним нагріванням, а за наявності вологи – фізико-хімічними процесами на поверхні. Тому реальне пошкодження металу не можна описати виключно одним механізмом. На різних ділянках одного робочого органу можуть одночасно проявлятися мікрорізання, пластичне відтиснення, багатоциклове деформування, мікровикришування та втомне відшаровування поверхневого шару.

Для лап культиваторів характерний подібний механізм, однак специфіка їх форми призводить до перерозподілу абразивного навантаження. Найбільший знос формується в носовій частині та на передніх ділянках крил, після чого зона спрацювання поширюється вздовж різальних кромок. Для клиноподібних ґрунторізальних робочих органів встановлено, що зміна геометрії внаслідок абразивного спрацювання безпосередньо змінює характер взаємодії з ґрунтовим середовищем [8. Таким чином виникає своєрідний зворотний зв’язок: зношування змінює геометрію робочого органу, а змінена геометрія, у свою чергу, формує новий розподіл контактних тисків і нову інтенсивність подальшого зношування.

Узагальнюючи результати досліджень, механізм абразивного зношування лемішно-лапових робочих органів можна представити як багатостадійний процес: контакт твердої частинки з металом → локальна концентрація тиску → проникнення абразиву в поверхневий шар → мікрорізання або пластичне відтиснення матеріалу → утворення борозен і напливів → повторне деформування → зародження мікротріщин → відокремлення частинок металу → поступова зміна макрогеометрії робочого органу.

Список використаних джерел

1. Yazıcı A. Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. Soil and Tillage Research. 2024. Vol. 242. Article 106161. DOI: 10.1016/j.still.2024.106161.

2. Sharifi Malvajerdi A. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

3. Ferguson S. A., Fielke J. M., Riley T. W. Wear of cultivator shares in abrasive South Australian soils. Journal of Agricultural Engineering Research. 1998. Vol. 69, No. 2. P. 99–105. DOI: 10.1006/jaer.1997.0182.

4. Natsis A., Petropoulos G., Pandazaras C. Influence of local soil conditions on mouldboard ploughshare abrasive wear. Tribology International. 2008. Vol. 41, No. 3. P. 151–157. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.06.002.

5. Borak K. Impact of the form factor of the abrasive particles of the soil on the intensity of the tilling machines tools wear. Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2020. No. 1. P. 46–55. DOI: 10.31649/2307-5392-2020-1-46-55.

УДК 631.331

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОБОТИ ВИСІВНОГО АПАРАТУ

Мельник В.І.[1], Зеленський А.П.[1], Зеленський О.П.[1], Зеленська М.А.[2]
[1]Державний біотехнологічний університет,
[2]Університет Марії Кюрі-Склодовської

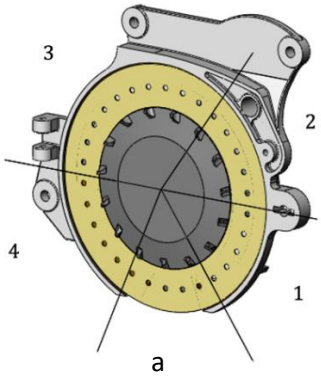
Висівний апарат є одним із основних органів пневматичної сівалки точного висіву. Правильно спроектований та налагоджений висівний апарат надає можливість отримати рівномірність висіву та зменшити кількість двійників та пропусків сільськогосподарських культур.

Метою дослідження обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів висівного апарату (висівного диску) для підвищення точності та рівномірності висіву насіння шляхом аналізу роботи та конструкції. Об’єктом дослідження є процес дозування та розподіл насіння висівним апаратом. Предметом дослідження є структурний аналіз геометричних характеристик насіння, закономірності взаємодії його з робочими елементами висівного апарату. Використано комплекс теоретичних, експериментальних та статистичних методів для аналізу конструкції та роботи висівного апарату.

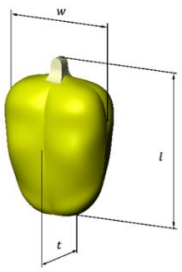
Висівний апарат складається з задньої кришки, прокладки ущільнювача, висівного диска, передньої кришки, верхнього пристрою для очищення насіння (гребінця), нижнього пристрою для очищення насіння (скидача двійників). Одна сторона висівного диска щільно прилягає до ущільнювальної прокладки повітряної камери, виконаної у вигляді кільця, тим самим утворюючи герметичну камеру негативного тиску, з'єднану через патрубок з відцентровим вентилятором [1]. Друга сторона, висівного диска, утворює насіннєву камеру разом з корпусом висівного апарату. Під час роботи висівного апарату, насіння в насіннєвій камері присмоктується до отворів висівного диска, під дією розрідження та рівномірно обертається навколо горизонтальної осі, за рахунок приводу двигуна, що регулює та стабілізує швидкість його обертання від втручання несприятливих зовнішніх факторів, механічної вібрації та нерівності ґрунту. У задній кришці та трубопроводі встановлені датчики тиску, які дають можливість здійснювати програмне керування роботою відцентрового вентилятором та підтримувати стабільний рівень розрідження. Насіння в камері-забірнику випадковим чином розподіляється поблизу отворів висівного диска, під дією конічної поверхні з лопатками та перепаду тиска потрапляє з камери розрядження через присмоктування до отворів висівного диска. Далі під час обертання висівного диска насіння прикріплюється до поверхні в області отворів При наближенні насіння до вікна вивантаження дія утримуючої сили припиняється, вони перестають утримуватись на поверхні диска та потрапляють до місця висадки. Робочу зону пневматичного висівного апарату можна розділити на окремі чотири області, рис. 1 (а): 1 – область заповнення отворів висівного диска насінням (відцентровий вентилятор створює розрядження, що

передається у вакуумну камеру висівного апарату та насіння, що потрапило з бункера в висівну камеру дозуючого пристрою, утримуються в отворах на висівному диску); 2 – область очищення насіння (відбувається видалення зайвого насіння з отворів висівного диска, залишаючи тільки одне насіння в області кожного отвору); 3 – область перенесення насіння (окреме насіння транспортується висівним диском, що обертається, до вікна вивантаження); 4 – область вивантаження насіння (повітряний потік, що подається для утримання насіння на поверхні диска, блокується, внаслідок чого насіння під дією сили тяжіння падає в трубку сошника, яка доставляє їх у борозну) [2,3].

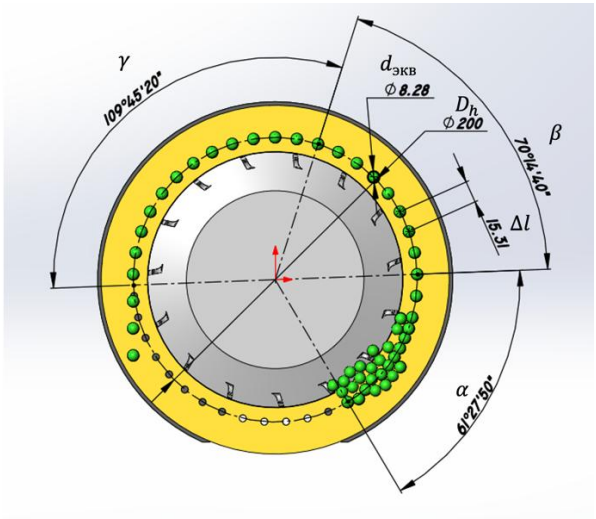
Під час роботи висівного апарату зерна надходять до області заповнення під дією сили тяжіння – G, в насіннєву камеру та захоплюються отворами, що присмоктують, які розташовані на висівному диску під впливом розрідження в повітряній камері. Через відмінності у формі та розмірі зерен, кожен присмоктуючий отвір надійно утримує одне або кілька зерен. Ці зерна здійснюють разом із диском рівномірний круговий рух і досягають області очищення. Поодинокі насінини, захоплені отворами висівного диска, легко проходять через область очищення, тоді як надлишкові зерна вступають в контакт з пристроєм очищення верхнім або нижнім, тим самим розділяючи потік насіння на «основні» та «другорядні». «Основне» насіння відчуває велику силу присмоктування та залишається міцно утримуватись на диску, у той час як зайві зерна падають назад в область заповнення – в насіннєву камеру. Після проходження області очищення насіння потрапляє в область скидання.



а



б



в

Рис. 1 а – схема області роботи пневматичного висівного апарату: (1) область заповнення насіння, (2) область очищення насіння, (3) область переносу насіння та (4) область вивантаження насіння; б – приклад зернятка кукурудзи із зазначенням основних розмірів; в – приклад присмоктування зерняток до отворів висівного диска

Коли тиск розрядження в повітряній камері зникає, насіння викидається по дотичній до кола розташування присмоктуючих отворів під дією гравітаційної та відцентрової сили. Для запобігання засміченню отворів різними домішками, виникає потреба у створенні 5-ої області очищення диска. Виконання цього завдання реалізується із встановленням обертового ролика з боку задньої кришки. За допомогою вусиків на ролику, які потрапляють у отвори на висівному диску, допомагають падінню насіння, що застрягло, та запобігають засміченню отворів. Розглядаючи швидкість роботи висівного апарату, що пов'язана з експлуатаційною швидкістю руху сівалки, а отже, і трактора, а також сучасних технологій та вимог до рослинництва, встановлено мінімальне та максимальне значення робочої швидкості сівалки лежить у діапазоні від 15 до 21 км/год, та продовжує зростаючу тенденцію збільшення швидкості висіву, та як наслідок зниження часової витрати. Діаметр висівного диска зазвичай проектується в діапазоні 140-260 мм (прийняли 245 мм), а товщина диска на рівні від 2 до 5 мм, залежно від матеріалу диска. Діаметр присмоктуючих отворів для насіння повинні бути меншим від самого насіння, для обмеження руху насіння всередину висівного диска. Потрібний тиск вакууму для дослідження обрано в діапазоні від 3,0 до 12,0 кПа. Розглядаючи роботу пневматичних висівних апаратів, які використовують тиск розрядження, та різні типи насіння під час висіву, включаючи кукурудзу, соняшник, горох, робочою групою сконцентровано увагу на спостереження за процесом змішаного посіву – Mix-Cropp, де використовувалося насіння кукурудзи та сої. Представлено приклад зерен кукурудзи із зазначенням основних розмірів рис.1 (б) та в таблиці 1 – середні рекомендовані значення, що часто використовуються в дослідженнях насіння сільськогосподарських культур та на рис. 1 (в) представлено приклад присмоктування насіння до отворів висівного диска.

Таблиця 1

Середні рекомендовані значення досліджуваного насіння сільськогосподарських культур

Культура	Довжина, l мм	Ширина, w мм	Товщина, t мм	Кут природного укосу, °	Кут внутрішнього тертя, °	Коефіцієнт тертя μ
Кукурудза (Maize)	10–12	7–9	4–5	25–32	28–35	0.35–0.45
Соняшник (Sunflower)	10–15	5–8	3–5	30–38	32–40	0.45–0.60
Горох (Pea)	7–9	7–9	7–9	22–28	25–32	0.25–0.40
Соя (Soybean)	6–8	5–7	5–7	24–30	27–34	0.30–0.45

Висновок. Отже на основі аналізу конструкції та теоретичних досліджень процесу взаємодії висівного матеріалу з робочими органами висівного апарату

та аналізу характеристик висівного матеріалу дає можливість перейти до розрахунку геометричних параметрів висівного диску.

Список використаних джерел

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. – Х. : Око, 2001. Т.1. – Ч.2 : Машини для сівби та садіння, 2001. 452 с.
2. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л.В. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич [та ін.] ; За ред. Д. Г. Войтюка. - К. : Агроосвіта, 2015. 678 с.
3. Мельник В.І., Зеленський А.П., Зеленський О.П. Процес взаємодії насіння та висівного диску у пневматичному висівному апараті. Матеріали XX міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПК».–Харків, 2025, с. 197-203

УДК 631.331

РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНОГО ДИСКА

Мельник В.І.[1], Зеленський О.П.[1], Зеленський А.П.[1], Зеленська М.А.[2]
[1]Державний біотехнологічний університет,
[2]Університет Марії Кюрі-Склодовської

Ключовим робочим органом сівалки точного висіву є висівний апарат з висівним диском. Саме правильна та оптимальна конструкція суттєво впливає на рівномірність розподілу насіння в рядку та дотримання норм висіву сільськогосподарських культур шляхом зменшення пропусків та двійників.

Метою дослідження встановлення оптимальних геометричних параметрів висівного диска для забезпечення якісної точності та рівномірності висіву сільськогосподарських культур. Об’єктом дослідження є процес дозування та розподіл насіння висівним апаратом сівалки точного висіву. Предметом дослідження є структурний аналіз агрономічних вимог та геометричних характеристик насіння, що впливають на розрахунок параметрів висівного диску та його присмоктуючих отворів.

В інженерній практиці розрахунки висівних дисків (пневматичних та механічних) традиційно базуються на класичних працях вітчизняних вчених (наприклад, роботи В.П. Горячкіна, М.Є. Резнікова або сучасних методичних посібників із проектування сільгоспмашин). Висіваючий диск є важливим компонентом пневматичного висівного апарату для дозування насіння, а діаметр диска є істотною величиною, що впливає на ефективність висіву. Якщо діаметр висівного диска занадто малий, то кривизна поверхні буде занадто велика, а площа контакту з насінням зменшиться, що значно знизить ефект адсорбції на поверхнях насіння та ускладнить досягнення експлуатаційних вимог. Якщо діаметр висівного диска занадто великий, то збільшиться потрібний об'єм

повітря, а також габаритні розміри всього пристрою, що призведе до збільшення конструкції висівного модуля. Відповідно до агрономічних вимог, кожен отвір для присмоктування насіння має вміщувати лише одне насіння. Тому при проектуванні висівного диска та отворів треба враховувати форму і розмір насіння. Їх форма переважно ділиться на еліпсоїдну та сферичну. При проектуванні отворів, що присмоктують, будемо розглядати у вигляді кола. Виходячи із зробленого припущення розраховуємо еквівалентний діаметр еліпсоїдного насіння. Його еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}}$ можна розрахувати за такою формулою [1]:

$$d_{\text{екв}} = \sqrt[3]{w \cdot l \cdot t}, \quad (1)$$

де $d_{\text{екв}}$— еквівалентний діаметр еліпсоїдного насіння, мм; w — ширина насіння, мм; l — довжина насіння, мм; t — товщина насіння, мм.

Було обрано випадковим чином шістдесят одне насіння зерен-кукурудзи, та їх тривимірні розміри були виміряні за допомогою штангенциркуля. Потім розраховано їх еквівалентні діаметри. Статистичні результати вимірювання еквівалентного діаметра представлені на рис. 1.

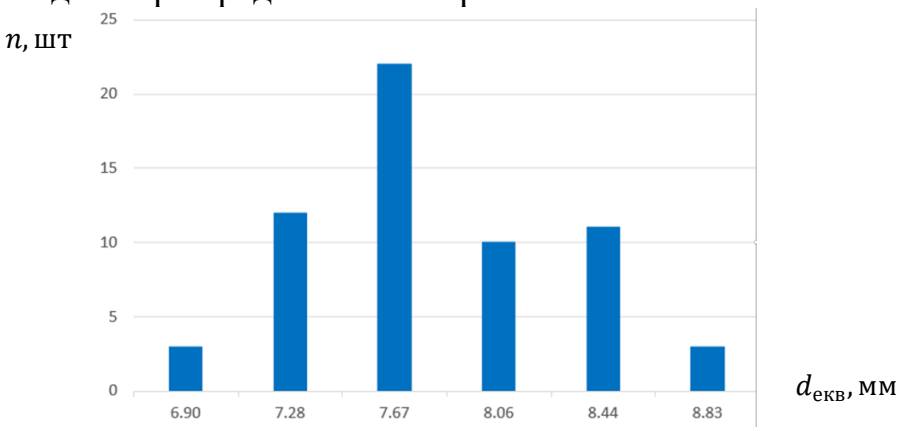


Рис. 1 Діаграма результатів розрахунку еквівалентного діаметра насіння

За результатіами вимірювань та розрахунків встановлено, що еквівалентний діаметр зерен-кукурудзи даного сорту становить 7,67 мм. Розглядаючи роботи М.Є. Рєзніков бачимо, що дослідження глибоко розкривають фізику роботи саме пневматичних висівних апаратів, згідно з його теорією, діаметр присмоктуючого отвору висівного диска зазвичай становить [2,3]:

$$d_h = (0.6 \sim 0.7) d_{\text{екв}}, \quad (2)$$

де d_h— діаметр отвору, що присмоктує, мм.

Після розрахунків, встановлено, що діапазон діаметрів присмоктуючих отворів на диску для висівання, склав від 4,6 до 5,4 мм, оптимальне значення прийнято 5,0 мм. Відповідно до класичних підходів, викладених у роботах М.Є. Рєзнікова, розрахунок інтервалу між присмоктуючими отворами (кроку розміщення на диску) є критично важливим значенням для забезпечення процесу присмоктування та запобігання двійників. Щоб запобігти присмоктуванню «зайвого» насіння, оптимальний інтервал між присмоктуючими отворами на диску Δl приймається рівним не менше:

$$\Delta l \geq (1.5 \sim 2.0) \cdot d_{\text{экв}}, \quad (3)$$

Після розрахунків інтервал Δl на висівному диску становив від 11,5 до 15,34 мм, оптимальне значення прийнято 15,0 мм. Довжина дуги кола розміщення отворів, що присмоктують, дорівнює:

$$L = \pi \cdot D_h, \quad (4)$$

де D_h – діаметр розміщення отворів, що присмоктують, на висівному диску, мм. При збільшенні кількості отворів, що присмоктують насіння, ефективність роботи висівного диска підвищується, але час адсорбції одного насіння скорочується, а потрібний негативний тиск під час роботи також збільшується. Тоді кількість отворів, що присмоктують насіння, на висівному диску можна визначити за формулою:

$$n = \frac{L}{\Delta l}, \quad (5)$$

З урахуванням вищевказаних факторів було остаточно встановлено, що оптимальна кількість отворів, що присмоктують насіння, становить 31 шт.

Існує певний взаємозв'язок між кількістю отворів, що присмоктують насіння розміщенних на висівному диску та його конструктивними параметрами, як показано у формулі:

$$n = \frac{L}{\Delta l}, \qquad L = \pi \cdot D_h, \qquad \Delta l \geq (1.5 \sim 2.0) \cdot d_{\text{экв}} \quad (6)$$

Для оцінки значення перепаду тиску (розрядження) – Δp з умови балансу сил, що діють на насіння в області отвору, що присмоктує, використовуємо теорію висловлену академіком П. М. Василенко. Визначимо силу присмоктування – перепад тиску (розрядження) – Δp, що створює втягуючу силу – F_n, діючу за нормаллю до отвору, що присмоктує, та має площу:

$$A_h = \frac{\pi\, d_h^2}{4}, \qquad F_n = \Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4}, \quad (7)$$

Сила контакту насіння з кромкою отвору, що присмоктує, визначається реакцією N і дорівнює різниці між силою, що втягує – P_s і силою спрямованою по нормалі до поверхні диска, що представляє собою силу, що відриває – F_n :

$$N = P_s - F_n = \Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4} - F_n, \quad (8)$$

Сила тертя – $F_{\text{тр}}$, що запобігає зісковзуванню насіння під дією зрушуючої сили – F_τ, де стійке утримання насіння забезпечується силою тертя – f:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N = f \cdot \left(\Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4} - F_n \right), f \cdot \left(\Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4} - F_n \right) \geq F_\tau \quad (9)$$

Розділивши обидві частини нерівності на коефіцієнт тертя – f:

$$\left(\Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4} - F_n \right) \geq \frac{F_\tau}{f}, \qquad \Delta p \cdot \frac{\pi\, d_{\text{отв}}^2}{4} \geq F_n + \frac{F_\tau}{f}, \quad (10)$$

Ввівши коефіцієнт запасу присмоктування – $k_{\text{зап}}$ та виражаючи перепад тиску (розрядження) – Δp отримуємо:

$$\Delta p = \frac{4 \cdot k_{\text{зап}}}{\pi d_{\text{отв}}^2}\left(F_n + \frac{F_\tau}{f}\right), \quad (11)$$

Враховуючи те, що коефіцієнт сили тертя насіння – $f < 1$ ($f \approx 0{,}25 \ldots 0{,}40$), то зсувна сила – F_τ, для успішного утримання насіння, вимагає пропорційно більшого нормального прижиму – N.

Висновок. Насіння, в області присмоктуючого отвору, утримується силою тертя, яка виникає від дії перепаду тиску, та перевищує векторну суму всіх відриваючих і зсувних сил. Вакуумний тиск повинен бути достатнім для утримання насіння на поверхні висівного диска при проходженні через шар насіння, що чинить опір. При аналізі діючих сил на насіння має дотримуватися умова рівноваги. Отже однією з головних задач є правильний вибір значення вакуумного тиску для висівного апарату під час висіву сільськогосподарської культури. Помилково вибраний високий тиск розряджання може призвести до присмоктування декількох насінин на один отвір, що розміщені на висівному диску, а маленький тиск розряджання призводить до виникнення порожніх присмоктуючих отворів. Виходячи з вище перерахованого, вибір оптимального значення тиску розрядження дає можливість забезпечити правильну роботу висівного апарату, що позитивно впливає на рівномірність висіву сільськогосподарських культур.

Список використаних джерел

1. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропивний В. М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1. Машини для рільництва: обробіток грунту, сівба, садіння, внесення добрив. – К.: Урожай, 2001. 382 с.
2. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л.В. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич [та ін.] ; За ред. Д. Г. Войтюка. - К. : Агроосвіта, 2015. 678 с.
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. ‑ Х. : Око, 2001. Т.1. ‑ Ч.2 : Машини для сівби та садіння, 2001. 452 с.

УДК 631.372:631.3:633.85

АНАЛІЗ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБАЙНА NEXAT: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Мороз Р. В., Петриченко Є. А.
Уманський національний університет

Постановка проблеми. Сучасне зернозбиральне обладнання розвивається у напрямі підвищення продуктивності, універсальності та скорочення часу на переоснащення. Комбайн NEXCO, що працює у складі системи NEXAT, являє

собою навісне обладнання [2; 7], яке підключається до трактора-носія NEXAT і використовує його привід та систему керування. Тому кінематичні характеристики такого агрегату доцільно розглядати не ізольовано, а як сукупність рухів робочих органів, приводів та механізмів переведення машини між робочим і транспортним положеннями. Особливого значення набувають кінематична надійність, узгодженість швидкостей приводів, можливість швидкого переналагодження та безпечність переміщення великогабаритних робочих органів.

Аналіз останніх досліджень. Основою аналізу є надана інструкція з експлуатації зернозбирального комбайна NEXCO NXC-140 (NEXAT GmbH) [1]. У документі конструкцію подано як систему взаємопов'язаних вузлів: рами, жатки, тримача жатки, каналу подачі, молотильно-сепарувального агрегату з подавальним барабаном, системи очищення, подрібнювача, транспортування зерна та зернового бункера. Кінематичні зв'язки реалізовані карданними валами, ремінними і ланцюговими передачами, а просторові переміщення жатки та окремих агрегатів — гідравлічними циліндрами [1; 5].

З конструктивної точки зору характерною особливістю NEXCO є поєднання безперервного обертального руху робочих органів із керованими поступальноповоротними переміщеннями, що відповідає загальним тенденціям розвитку сучасних зернозбиральних машин [2; 3]. Зокрема, жатка шарнірно закріплена на рамі та переводиться між положеннями за допомогою чотирьох гідравлічних циліндрів [1; 3]; у складеному положенні вона фіксується гідравлічно керованими зачіпними гачками. Канал подачі може мати ремінний або ланцюговий привід. Ротор має ремінний привід і три передачі, що дає змогу змінювати його режим роботи залежно від умов обмолоту.

Мета досліджень

Метою роботи є аналіз основних кінематичних характеристик NEXCO у складі системи NEXAT, визначення переваг і недоліків прийнятих кінематичних схем, а також оцінювання їх впливу на функціональність, універсальність, транспортну придатність та експлуатаційну надійність.

Результати досліджень Кінематична структура NEXCO може бути умовно поділена на три групи рухів. Перша група — транспортно-технологічний рух машини, який забезпечується трактором-носієм NEXAT. Друга група — обертальні рухи робочих органів: приводу жатки, подаючого барабана, ротора, системи очищення, подрібнювача та транспортерів. Третя група — керовані просторові переміщення окремих вузлів, необхідні для складання, розкладання, налаштування і транспортування.

Для передачі потужності до жатки застосовано карданні вали, які приводяться через ремінні передачі [1; 3]. Таке рішення дає змогу передавати крутний момент до робочого органа, який має змінювати просторове положення. Одночасно жатка спирається на два опорні колеса, що зменшує навантаження на трактор-носій. Під час переходу з робочого у транспортне положення жатка піднімається шарнірно; при цьому опорні колеса переміщуються у верхнє кінцеве положення, після чого жатка фіксується у зачепах. Наявність

гідравлічних циліндрів спрощує керування цим процесом, але збільшує кількість рухомих ланок і гідравлічних з'єднань.

У каналі подачі використовується ремінний або ланцюговий привід із планками, який забезпечує переміщення рослинної маси до ротора. Вибір двох варіантів приводу є перевагою з погляду адаптації конструкції до різних виконань каналу. Водночас ремінна передача чутлива до натягу та зношування, а ланцюгова — до змащування, натягу та стану шарнірів ланцюга.

Ключовим кінематичним вузлом є молотильно-сепарувальний агрегат. Подавальний барабан прискорює масу, що надходить із приймального каналу, після чого ротор забезпечує обмолот і сепарацію. Ротор має ремінний привід і три механічні передачі, які перемикаються ручним важелем. Перевагою є можливість вибору кінематичного режиму відповідно до культури та умов роботи. Недоліком є необхідність зупинки агрегату перед зміною передачі, а також наявність додаткової процедури, пов'язаної з ремінним шківом і важелем перемикання.

Важливою характеристикою є зміна габаритів залежно від положення. Для зернозбиральних машин такі параметри безпосередньо пов'язані з умовами руху, маневрування та організацією технологічного процесу [4]. У паркувальному положенні ширина NEXCO становить 3460 мм, довжина — 13400 мм, висота — 4200 мм, маса — приблизно 17800 кг. У робочому положенні ширина збільшується до 6680 мм, а висота — до 4830 мм. Таким чином, кінематичне розкладання робочих органів супроводжується істотним збільшенням просторового охоплення машини. Це є перевагою під час виконання технологічної операції, але створює обмеження при маневруванні та транспортуванні.

У транспортному режимі інструкція передбачає складання жатки, переведення розкидача полови та вивантажувального шнека у транспортне положення, а також встановлення дорожнього режиму трактора. Виробник окремо зазначає, що через NEXCO трактор має змінені габарити та центр ваги, тому під час транспортування необхідно рухатися повільно, обережно та уникати крутих поворотів. Це свідчить про те, що кінематична компоновка позитивно впливає на універсальність роботи, але одночасно підвищує вимоги до керованості та безпеки.

До основних переваг кінематичної системи NEXCO належать [2; 3]: модульність і взаємопов'язаність робочих механізмів; використання карданних, ремінних та ланцюгових передач залежно від призначення вузла; гідравлічне керування складанням жатки та інших елементів; можливість вибору однієї з трьох передач ротора; швидке переведення між робочим і транспортним положеннями; можливість застосування різних жаток, зокрема для зернових і кукурудзи.

До недоліків слід віднести складність кінематичної системи, що загалом є важливим експлуатаційним чинником для сучасних зернозбиральних машин [2; 4], велику кількість шарнірних, карданних, ремінних і гідравлічних елементів, необхідність регулярного технічного обслуговування, а також залежність NEXCO від трактора NEXAT як носія. Значні габарити в робочому положенні та

маса близько 17,8 т зумовлюють підвищені вимоги до простору для маневрування і до організації транспортування. Окремим обмеженням є те, що зміна передачі ротора потребує попередньої зупинки відповідних механізмів, а невиконання правил експлуатації може створювати небезпеку защемлення та пошкодження деталей.

Висновки

Проведений аналіз показує, що кінематична система NEXCO побудована за принципом поєднання модульних механічних передач із гідравлічними механізмами керованого переміщення [1; 5]. Її основними перевагами є функціональна універсальність, можливість адаптації робочих органів до технологічних умов, триступеневе регулювання кінематичного режиму ротора та зручне переведення основних вузлів між робочим і транспортним положеннями. Водночас складність приводів і механізмів, значні габарити, маса та залежність від трактора-носія є чинниками, що ускладнюють експлуатацію та технічне обслуговування. Отже, конструктивні рішення NEXCO забезпечують високий рівень функціональності, але потребують суворого дотримання режимів експлуатації та регламенту технічного обслуговування.

Список використаних джерел

1. NEXAT GmbH. Інструкція з експлуатації. Комбайн NEXCO NXC-140. BA 18017-0036021-00, 10.25. 156 с.

2. Кравчук В., Смолінський С., Занько М., Гайдай Т., Олійник О. Тенденції розвитку зернозбиральних комбайнів // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. 2020. Вип. 26. С. 14–29.

3. Кравчук В., Занько М. Зернові жатки сучасних комбайнів: конструкційні особливості та експлуатаційні показники // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. 2019. Вип. 24(38). С. 176–185. DOI: 10.31473/2305-5987-2019-124(38)-18.

4. Дідик О. К., Віхрова М. С. Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40, ч. 1. С. 99–103.

5. Лисюк І. М. Обґрунтування параметрів гідросистеми зернозбиральних комбайнів з LS-керуванням : кваліфікаційна робота. Житомир : Поліський національний університет, 2021. 29 с.

6. Анеляк М., Кузьмич А., Грицака О., Попадюк І. Техніко-економічне обґрунтування доцільності створення енерготехнологічного засобу на базі зернозбирального комбайна // Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агроінженерні дослідження». 2021. № 25. С. 99–106. DOI: 10.31734/agroengineering2021.25.099.

7. NEXAT GmbH. Harvest: NEXCO harvesting module. URL: https://www.nexat.de/en/products/harvest/ (дата звернення: 05.10.2026).

8. Industrial Vehicle Technology International. Case Study: The Nexat all-in-

one. 10 January 2024. URL: https://www.ivtinternational.com/features/case-study-the-nexatall-in-one.html (дата звернення: 05.10.2026).

9. NEXAT GmbH. The system: NEXAT. URL: https://www.nexat.de/das-system/ (дата звернення: 05.10.2026).

УДК 631.364: 631.554

АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЗБИРАННЯ ТЮКІВ СОЛОМИ

Хворост Т. В., Омельченко Є. М.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Солома, що залишається на полі після збирання зернових, може використовуватися по-різному: її подрібнюють і заробляють у ґрунт або пресують у тюки для потреб тваринництва. Тюкування дає змогу ущільнити матеріал, полегшити його навантаження, перевезення та складування. Проте саме пресування не завершує заготівлю. Далі тюки треба підібрати з поля, зібрати у проміжні штабелі, перевезти й вивантажити, не пошкодивши обв'язування та форму.

Затягування з підбиранням призводить до того, що тюки довго лежать під відкритим небом, вбирають вологу й втрачають якість. Особливо небезпечна вологість понад 20 %: за таких умов усередині тюка починається самозігрівання, і матеріал псується (Dobie & Haq, 1980). Тому підбирання тюків – не просто транспортна операція, а повноцінна складова технології заготівлі соломи.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні роботи з інженерії заготівлі соломи зосереджені на кількох напрямах: підвищенні щільності та стабільності тюків, удосконаленні техніки й технології підбирання, скороченні кількості операцій та зниженні енерговитрат. Зокрема, Guerrieri et al. (2019) довели, що ефективність тюкування залежить не від одного параметра машини, а від узгодженої дії технологічних і конструктивних чинників. Sharma and Brar (2022) підтвердили, що вибір технології заготівлі істотно впливає на енергетичні показники процесу.

Окремо вивчається внутрішньопольова логістика. Igathinathane et al. (2014) з'ясували, що на загальний шлях машин у полі впливають схема руху підбирального агрегату, місткість транспортного засобу та спосіб накопичення тюків. У подальшому було показано, що місця проміжних штабелів варто узгоджувати з розташуванням виїздів із поля та вантажопідйомністю транспорту (Igathinathane et al., 2016). Сучасні машини поєднують підбирання, перевертання, накопичення, перевезення та вивантаження тюків. Польові випробування засвідчують, що якість процесу залежить від швидкості агрегату, положення підбирального механізму та взаємного розташування машини й тюка (Zhao et al., 2024). З функціонального погляду підбирання тюка – це послідовність операцій: пошук, орієнтація, захват, переміщення, накопичення, вивантаження (Зубко & Омельченко, 2026).

Мета досліджень – узагальнити та обґрунтувати основні агротехнічні вимоги до механізованого підбирання, накопичення й транспортування тюків соломи в польових умовах.

Результати досліджень. Аналіз техпроцесу показує п'ять ключових вимог.

Своєчасність збирання. Підбирати тюки слід у найкоротший технологічно виправданий строк після пресування і за відсутності опадів. Для тюків, призначених для тривалого зберігання, критично важливий контроль вологості. Як показано в дослідженнях Dobie and Haq (1980), при вологості понад 20 % солома в тюку самозігрівається. Отже, вологість – один із головних показників, що визначає придатність тюкованого матеріалу до накопичення й складування.

Збереження цілісності тюка. Робочий орган підбирача має захоплювати тюк так, щоб не розірвати шпагат, не деформувати надмірно грані й не втратити частину матеріалу. Це особливо важливо для великогабаритних прямокутних тюків, адже їхня геометрична стабільність визначає можливість щільного укладання, перевезення та формування штабеля. Випробування сучасних машин показують, що параметри захвату й швидкість агрегату прямо впливають на повноту підбирання та правильність укладання тюків (Zhao et al., 2024).

Стабільний захват незалежно від положення тюка на полі. Після виходу з прес-підбирача тюки лежать по-різному відносно напрямку руху збирального агрегату. Тому конструкція машини або схема її руху повинні узгоджувати положення тюка з траєкторією робочого органу. Орієнтацію та захват доцільно розглядати як етапи одного технологічного циклу (Зубко & Омельченко, 2026).

Мінімізація непродуктивних переміщень агрегату. Тюкована солома розподілена по полю нерівномірно, тому ефективність збирання значною мірою залежить від маршруту. Скорочення сумарного шляху між тюками зменшує тривалість циклу, витрати пального та кількість проходів по полю. Моделювання внутрішньопольової логістики підтверджує перевагу маршрутів, побудованих з урахуванням фактичного розташування тюків і місткості транспортного засобу (Igathinathane et al., 2014).

Узгодження підбирання, накопичення й транспортування. Збільшення кількості тюків, що перевозяться за один рейс, і раціональне розміщення місць проміжного накопичення скорочують загальний транспортний шлях (Igathinathane et al., 2016). Тому продуктивність процесу варто оцінювати не за швидкістю підбирання одного тюка, а за тривалістю повного циклу – від захвату до вивантаження сформованої партії.

Висновки. Агротехнічні вимоги до збирання тюків соломи мають комплексний характер. Вони враховують стан матеріалу, збереження форми й обв'язування тюків, умови захвату, положення на полі, маршрут руху машини та організацію подальшого транспортування. Серед ключових параметрів – своєчасність збирання за допустимої вологості, мінімізація пошкодження тюків, надійний захват, скорочення непродуктивних переміщень і узгодження операцій підбирання, накопичення та вивантаження. Дотримання цих вимог має бути вихідною умовою при обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів машин для збирання тюкованої соломи.

Список використаних джерел

1. Dobie, J. B., & Haq, A. (1980). Outside storage of baled rice straw. Transactions of the ASAE, 23(4), 990–993. https://doi.org/10.13031/2013.34702

2. Guerrieri, A. S., Anifantis, A. S., Santoro, F., & Pascuzzi, S. (2019). Study of a large square baler with innovative technological systems that optimize the baling effectiveness. Agriculture, 9(5), 86. https://doi.org/10.3390/agriculture9050086

3. Igathinathane, C., Archer, D., Gustafson, C., Schmer, M., Hendrickson, J., Kronberg, S., Keshwani, D., Backer, L., Hellevang, K., & Faller, T. (2014). Biomass round bales infield aggregation logistics scenarios. Biomass and Bioenergy, 66, 12–26. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.013

4. Igathinathane, C., Tumuluru, J. S., Keshwani, D., Schmer, M., Archer, D., Liebig, M., Halvorson, J., Hendrickson, J., & Kronberg, S. (2016). Biomass bale stack and field outlet locations assessment for efficient infield logistics. Biomass and Bioenergy, 91, 217–226. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.019

5. Sharma, A., & Brar, A. S. (2022). Investigation on baler technology for ex situ paddy residue biomass management with energy consumption analysis for wheat establishment. International Journal of Environmental Science and Technology, 19, 6267–6284. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03444-6

6. Zhao, Y., Diao, P., Lu, Z., Li, X., Li, S., & Wang, S. (2024). Design and test of a traction side-pull square straw bale pick-up-and-stack truck. Agriculture, 14(11), 1978. https://doi.org/10.3390/agriculture14111978

7. Зубко, В., & Омельченко, Є. (2026). Теоретичні основи функціонування машини для підбирання, накопичення та транспортування тюків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 56, 85–90. https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.85-90

УДК 631.363.2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОДРОБАРКИ

Курило А. Ю., Левченко Ю. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Подрібнення зернової сировини є важливою технологічною операцією під час виробництва кормів і підготовки компонентів кормових сумішей. Ефективність цього процесу визначається продуктивністю обладнання, питомими витратами електроенергії та відповідністю гранулометричного складу продукту технологічним вимогам. У зернодробарках роторного типу зазначені показники залежать від конструкції подрібнювального механізму, стану робочих органів, режиму подавання сировини та умов відведення готового продукту.

Для роторно-молоткових зернодробарок актуальними є зношування ударних елементів, нерівномірність їх навантаження та необхідність узгодження

параметрів ротора з характеристиками зерна. Модернізація механізму подрібнення має забезпечувати можливість підтримання робочої геометрії вузла та його налаштування відповідно до необхідної крупності продукту. При цьому підвищення продуктивності доцільно розглядати разом зі збереженням якості подрібнення й обмеженням енергетичних витрат.

Аналіз останніх досліджень. У праці [1] розглянуто застосування зернодробарок у малих свиновідгодівельних господарствах і напрями вдосконалення обладнання для подрібнення кормової сировини. Дослідження [2] присвячено впливу діаметра отворів решета, кількості молотків і робочого зазору на продуктивність та енергетичні показники молоткової дробарки. Отримані авторами результати підтверджують необхідність узгодженого вибору конструктивних параметрів, однак установлені для конкретної машини налаштування не можна без перевірки переносити на інші зернодробарки.

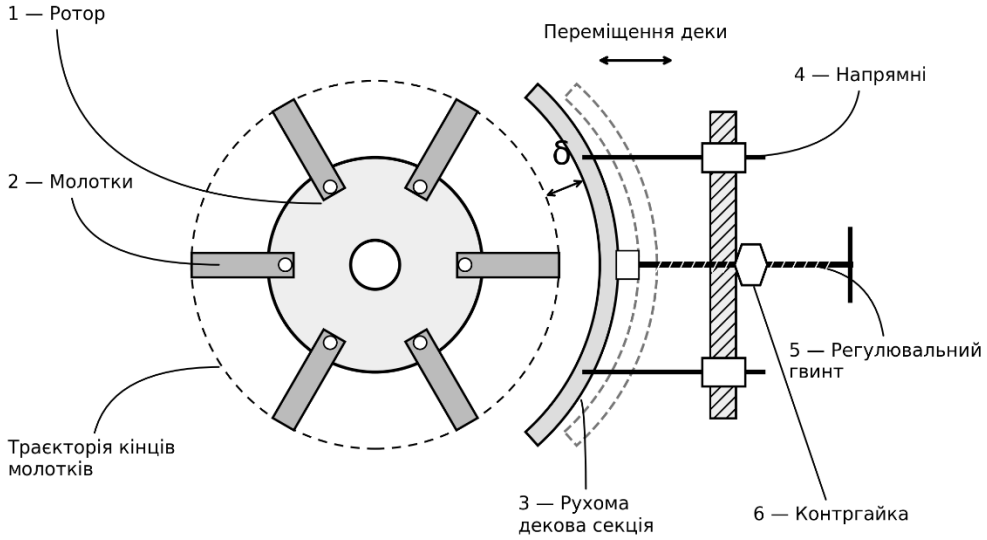
У дослідженні [3] показано збільшення питомих енерговитрат під час подрібнення кукурудзи та соєвого шроту в міру зношування молотків. У роботі [4] ефективність конструкції дробарки оцінюють за енергетичними показниками, продуктивністю та гранулометричним складом продукту. Це дає підстави розглядати модернізацію подрібнювального механізму як комплексне завдання, що охоплює конструкцію робочих органів, їхній технічний стан і технологічні режими роботи.

Мета досліджень. Обґрунтувати напрям модернізації механізму подрібнення роторно-молоткової зернодробарки шляхом удосконалення компонування та обслуговування робочих органів, забезпечення регулювання робочого зазору й визначення показників оцінювання ефективності запропонованого рішення.

Результати досліджень. На підставі аналізу опублікованих досліджень сформовано концепцію модернізації подрібнювального механізму, яка передбачає застосування змінних молотків із можливістю перестановки для використання незношених робочих крайок, симетричне розміщення ударних елементів на роторі та регулювання положення декової секції відносно траєкторії їх руху. Наведене рішення є проєктною пропозицією; його результативність має бути встановлена порівняльними випробуваннями.

Основним напрямом модернізації запропоновано підтримання раціональної геометрії зони подрібнення впродовж експлуатації. Для цього конструкція молотків і вузлів їх кріплення повинна забезпечувати доступність огляду, заміни та перестановки робочих елементів. Перестановку необхідно виконувати комплектно, зі збереженням масової симетрії ротора. Можливість повторного використання крайок визначається фактичною формою молотка, характером зношування та станом отворів його підвішування.

Регулювання робочого зазору пропонується здійснювати переміщенням декової секції з подальшою надійною фіксацією її положення. Такий підхід створює можливість досліджувати вплив відстані між робочими органами та декою на процес руйнування зерна. Межі регулювання необхідно визначати з урахуванням кінематики молотків, виробничих допусків, деформацій деталей і вимог до виключення контакту рухомих та нерухомих елементів.



δ — робочий зазор; штрихова дека — інше положення. Схематично, без масштабу.

Рис. 1 – Схема регулювання робочого зазору роторно-молоткової зернодробарки (*схему створено із використанням генеративного ШІ; зміст перевірено та відредаговано автором*)

Додатковою умовою модернізації є узгодження кількості й розміщення молотків із пропускною здатністю решітної поверхні. Зміна компонування ротора має супроводжуватися перевіркою навантаження привода, міцності осей підвішування та балансування складеного вузла. Для порівняння конструктивних варіантів слід забезпечити однакові характеристики вихідної сировини та задані вимоги до крупності готового продукту.

Для оцінювання ефективності модернізації пропонується використовувати питому витрату електроенергії:

$$e = \frac{E}{m},$$

де e – питома витрата електроенергії, кВт·год/т;

E – електроенергія, спожита за період досліду, кВт·год;

m – маса подрібненого зерна, т.

Продуктивність визначають за залежністю:

$$Q = \frac{m}{t},$$

де Q – продуктивність, т/год;

t – тривалість подрібнення дослідної партії, год.

Гранулометричний склад продукту доцільно визначати ситовим аналізом із виділенням цільової, надмірно дрібної та крупної фракцій. Межі зазначених фракцій потрібно встановити до початку випробувань відповідно до призначення подрібненого зерна.

Порівняльні випробування базового та модернізованого механізмів запропоновано проводити на зерні однієї культури й партії за контрольованої

вологості. Досліди мають охоплювати зміну робочого зазору та частоти обертання ротора за фіксованих характеристик решета й контрольованого подавання матеріалу. Окремо необхідно реєструвати потужність холостого ходу, щоб відрізняти загальні витрати електроенергії від витрат, пов'язаних безпосередньо з технологічним навантаженням.

Критерієм результативності модернізації запропоновано вважати зменшення питомих енерговитрат за забезпечення заданої продуктивності та допустимого гранулометричного складу. Додатковими показниками є стабільність роботи ротора, зношування молотків і тривалість їх заміни. Такий підхід дає змогу оцінити не лише технологічний ефект, а й експлуатаційну доцільність конструктивних змін.

Висновки. За результатами аналітичного опрацювання запропоновано концепцію модернізації роторно-молоткової зернодробарки, яка поєднує використання змінних переставних молотків, збереження масової симетрії ротора та регулювання положення декової секції. Визначено конструктивні обмеження й показники, за якими доцільно оцінювати запропоноване рішення.

Ефективність модернізації необхідно встановлювати за сукупністю питомих енерговитрат, продуктивності, гранулометричного складу та експлуатаційних показників. Остаточний вибір робочого зазору, компонування молотків і режимів обертання ротора потребує розрахункової перевірки та випробувань дослідного зразка.

Список використаних джерел

1. Велит І. А., Неділько Я. В., Дорохін Р. С. Зернодробарки для малих свиновідгодівельних ферм. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2 (33). С. 17–24. DOI: 10.32515/2664-262X.2019.2(33).17-24.

2. Al-Eid M., Qabatty A., Kubaisi R., Jaafar A. A. K. Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn grinding. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. Article 639. DOI: 10.1007/s42452-025-07263-z.

3. Kušec V., Pliestić S., Stojnović M. Energetska potrošnja pri usitnjavanju kukuruza i sojine sačme. *Agronomski glasnik*. 2012. Vol. 74, No. 1. P. 3–15. URL: https://hrcak.srce.hr/85685.

4. Попов С. В., Скоряк Ю. Б. Експериментальна оцінка ефективності конструкції молоткової дробарки. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Т. 1. Вип. 53. С. 170–177. DOI: 10.31498/2225-6733.53.1.2026.359806.

УДК 631.333

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПНЕВМАТЧНОЇ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Онищенко Б.В., Онищенко В.Б., Теслюк В.В., Ратушний В.В., Ачкевич О.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Довгий період часу українськими вченими були проведені експериментальні дослідження по створенню машини для внесення твердих мінеральних добрив із застосуванням штангових пневматичних висівних систем. Але вони мали ряд суттєвих недоліків і тому не знайшли широкого впровадження у вітчизняному сільськогосподарському виробництві.

Аналіз результатів досліджень. Експериментальний зразок машини з пневматичною висівною системою для внесення твердих мінеральних добрив містить кузов 4 (рис. 1), встановлений на рамі 7, днище 3, який охоплює перфорований живильник 2, котрий включає планково-прутковий транспортуючий робочий орган, змонтований на двох валах 11. Над верхньою ланкою живильника 2 встановлена регулювальна заслінка 1, для зміни дози внесення туків. Під його нижньою ланкою змонтовано жолоб 6, один кінець якого огинає вал 11, а зріз (край) 10 його протилежного кінця виконаний під гострим кутом до повздовжньої осі кузова 4. На рамі 7 встановлено відцентровий вентилятор 5, до якого через повітропровід 12 приєднано матеріалопроводи різної довжини , котрі обладнано ежекторами 9 з лійками 8, що розміщені біля обрізу 10 жолоба 6. Матеріалопроводи розміщені під нижньою ланкою живильника 2, спрямовані упоперек повздовжньої осі кузова 4, а їх вихідні кінці обладнані розсіювачами аеросуміші.

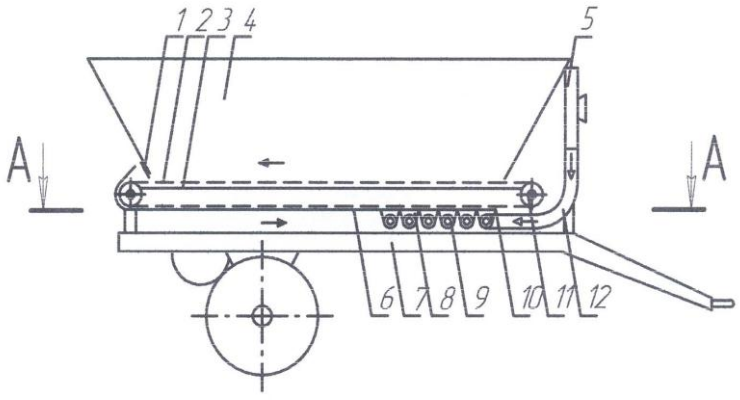


Рис.1. Функціональна схема удосконаленої машини.

1 – регулювальна заслінка; 2 – живильник; 3 – днище; 4 – кузов; 5 – відцентровий вентилятор; 6 – жолоб; 7 – рама; 8 - лійками; 9 - ежектори; 10 – обріз; 11 – вал; 12 - повітропровід

Мета досліджень. Застосування пневматичної висівної системи внесення машини для внесення твердих мінеральних добрив дає можливість більш якісного виконання технологічного процесу розсівання добрив по поверхні поля.

Результати досліджень. Під час роботи експериментального зразка машини, завантажені туки виносяться у відрегульованій заслінкою 1 дозі, верхньою ланкою живильника 2 із кузова 4 і подаються на жолоб 6, по якому транспортуються нижньою ланкою живильника 2 у зворотньому напрямку. Стиснуте повітря від вентилятора 5 через повітропровід 12 поступає в матеріалопроводи, за ежекторами 9 рухається повітряний потік. Туки, які транспортуються по жолобу 6, при проходженні його зрізу 10 просіваються крізь перфорації (міжпрутковий простір) нижньої ланки живильника 2 в лійки 8, через які поступають в ежектори 9. В останніх туки змішуються з повітряним потоком, і утворена аеросуміш транспортується по матеріалопроводах, до розсіювачів, якими потік розсівається і у вигляді віяла викидається в атмосферу. Під дією одержаної кінетичної енергії і сили земного тяжіння туки, які перейшли у вільний політ, розсіваються і осідають на поверхню поля.

Завдяки виконанню матеріалопроводів різної довжини і установці розсіювачів з постійним кроком досягається якісне внесення туків по робочою ширині захвата машини.

Висновки. Застосування машини для внесення твердих мінеральних добрив з пневматичною висівною системою дає можливість збільшити робочу ширину захвата машини та більш якісного виконання технологічного процесу розсівання добрив по поверхні поля.

Список використаної літератури

1. Адамчук В.В. Обгрунтування моделі внесення мінеральних добрив // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха.- ННЦ „ІМЕСГ” , -2002. Вип. 86.- с. 90-99.

2.Адамчук В.В. Підсумки створення технологічних комплексів для застосування твердих мінеральних добрив і хіммеліорантів //Техніка АПК.- 2000.-№3.- С.10-12.

УДК 631.35.001.66

АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ОБПРИСКУВАЧА HARDI NAVIGATOR EAGLE 3000L 24M

Войтюк Д.Г., Онищенко Б.В., Онищенко В.Б., Теслюк В.В., Ачкевич В.І.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва та широке впровадження механізованих технологій вирощування польових культур вимагає раціонального використання хімічних засобів захисту

рослин. Значне різноманіття ґрунтово - кліматичних умов, метеорологічних факторів, забрудненість полів багатьма видами бур'янів, великий набір культурних рослин і багато інших факторів обумовлюють необхідність використання сучасних обприскувачів з автоматизованою системою керування робочим процесом хімічної обробки рослин.

Аналіз досліджень конструктивних особливостей сучасного обприскувача Hardi. Обприскувача включає такі основні вузли та системи (рис. 1): головний бак 2 для робочого розчину; бачок з водою для миття рук; насос для води і робочого розчину 5; система кранів та фільтрів; штанга з розпилювачами 1; гідросистема; система керування процесом обприскування. Рама шасі 9 зібрані з металевого профілю.



Рис.1. Загальна будова обприскувача HARDI NAVIGATOR EAGLE 3000L 24M(вигляд з лівого боку)

1 – штанга; 2 – головний бак; 3 – заливна горловина головного бака ; 4 – ящик інвентарю; 5 - насос; 6 – карданний вал; 7 – зчіпка тягового бруса; 8 - опорна стійка; 9 - рама;10 – міксер ТурбоФілер; 11 – бак промивання системи;

Ходова частина складається з двох ходових коліс. Ширина колії – регульована. Головний бак для робочої рідини 2 і бак для промивання системи 11 виготовлені з пластику, обладнані покажчиком рівня рідини поплавкового типу. Заправлення резервуарів здійснюється через верхню горловину від заправних засобів чи водопровідної мережі або за допомогою робочого насоса, що входить до комплекту обприскувача. Штанга 1 виготовлена з металевих труб, складається з трьох лівих і трьох правих та однієї центральної секції. Тримачі розпилювачів – трипозиційні, обладнані відсічними клапанами.

Мета досліджень. Провести дослідження процесу роботи системи автоматизованого керування обприскувача Hardi Navigator 3000L 24m.

Результати досліджень. Блок клапанів керування рідинною системою EVC - Електричний клапан керування (рис. 2.) безпосередньо пов'язаний із секційними клапанами, що дає швидке реагування на відкриття або закриття секційних клапанів.

Блок керування рідинною системою EVC контролюється через бортовий контролер та бортовий комп’ютер HC 5500. Цей блок є вбудованим у загальну систему електрокерування HARDI MATIC.

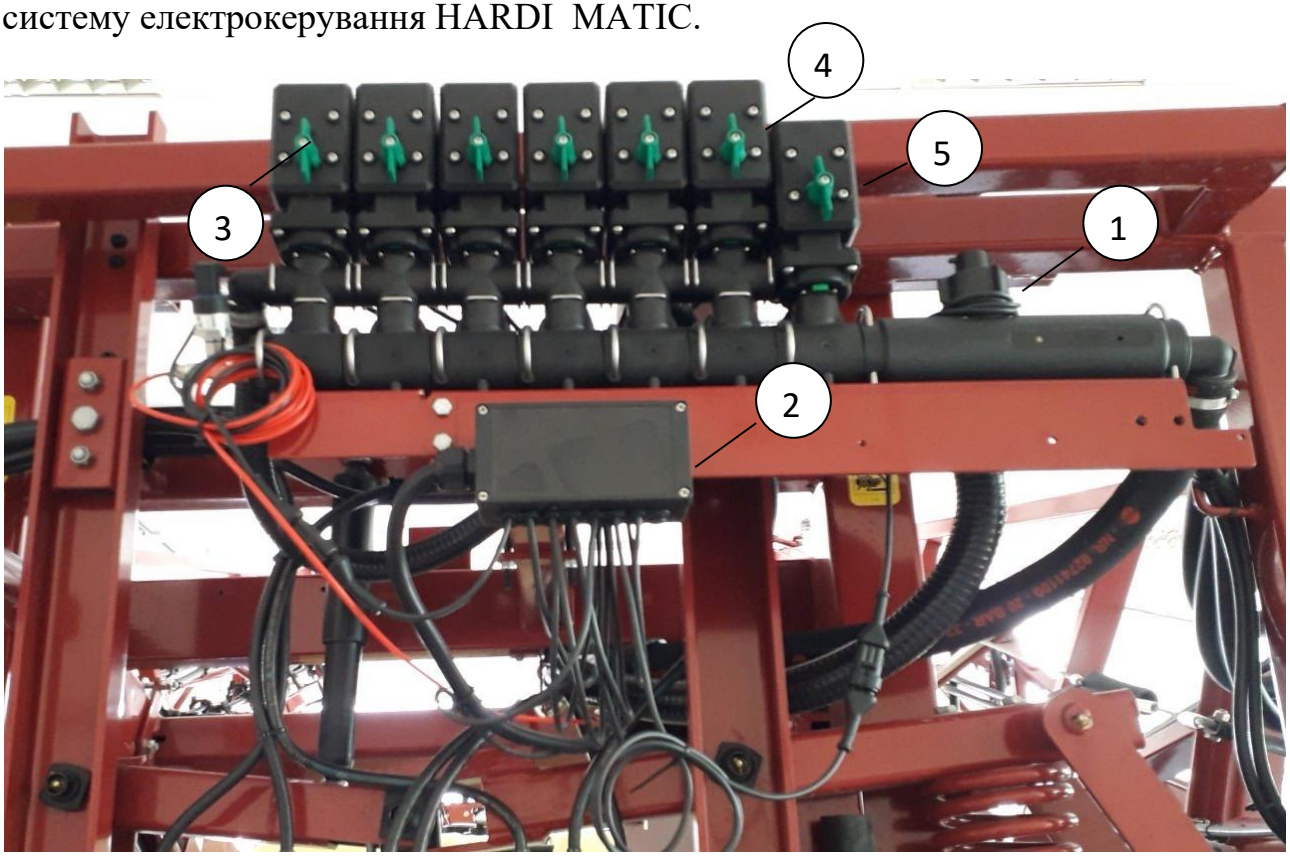


Рис. 2. Блок клапанів керування рідинною системою EVC.
1 – датчик тиску; 2. – бортовий контролер; 3 – секційні клапани; 4 – регулювальний гвинт; 5 - клапан регулювання потоку робочої рідини;

Бортовий комп’ютер HC 5500 – це потужний комп’ютер (рис.3), який дозволяє автоматично витримувати задану норму внесення робочої рідини незалежно від швидкості руху агрегату, а також надає інформацію про оброблену площу, час роботи, миттєву, середню та максимальну швидкість руху агрегату, пройдену відстань, продуктивність, об’єм робочої рідини в баку, дату початку і закінчення обприскування. Оператор миттєво інформується про робочий стан і попереджається, якщо такі параметри, як тиск, швидкість тощо, неправильні.



Рис. 3. Бортовий комп'ютер HC 5500.

1 – норма внесення; 2 – швидкість руху агрегату; 3 – рівень робочої рідини в баку; 4 – оброблена площа; 5 – використаний об'єм робочої рідини; 6 – відстань; 7 – автоматичний контроль; 8 – кнопки вибору, зміни і введення даних; 9 – кнопка відхилення даних; 10 – екран виводу інформації.

Висновки. Норма витрати робочої рідини (літри/гектар) змінюється наступим чином:

1. Вибір норми в меню контролера НОРМА ВИЛИВУ, щоб потрапити в це меню натисніть  і утримуйте кілька секунд.
2. Натискаючи  або  ви вибираєте цифру для її корекції.
3. Натисніть  для збереження значень.
4. Натисніть  і утримуйте, щоб вийти з меню.

Список використаних джерел

1. IMA НААН України. Borys Onyshchenko, Vladimir Onyshchenko EXPERIMENTAL EXPLORE OF THE IMPACT OF MF 9108 VE PLANTER SETTINGS ON CORN YIELD National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine. Збірник наукових праць ІМА НААН України, вип.. 16,2023, с. 50-57.

1.Теоретичні дослідження процесу осідання краплі змінної маси у відкритому просторі. / В. Онищенко, канд. техн. наук, Б. Онищенко, канд. техн. наук, І. Любченко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – К., 2013. – Вип. 17(31). С. 220 – 226.

УДК 631.147:504.06

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА ОСНОВНИМИ ЕКОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ (ДОСВІД ПП «АГРОЕКОЛОГІЯ», УКРАЇНА)

Падалка В. В, Горбенко О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Продовольча безпека є однією з ключових передумов стабільного функціонування та сталого розвитку держави. Забезпечення внутрішнього ринку достатніми обсягами продовольства безпосередньо пов'язане з економічною стабільністю, соціальним добробутом населення та ефективністю функціонування агропромислового комплексу. Україна має значний виробничий і ресурсний потенціал у сфері сільськогосподарського виробництва, що забезпечує можливість формування необхідних обсягів продовольчої та кормової продукції [1, 2].

Незважаючи на сучасні економічні та безпекові виклики, агропромисловий сектор України зберігає значний потенціал для виробництва та перероблення сільськогосподарської продукції як для забезпечення внутрішніх потреб населення, так і для формування ресурсної бази тваринницької галузі. Упровадження сучасних технологій виробництва, удосконалення технічного забезпечення та використання інноваційних підходів сприяють підвищенню ефективності аграрного виробництва та збільшенню обсягів продукції рослинного і тваринного походження.

Важливим напрямом подальшого розвитку агропромислового виробництва є забезпечення його екологічної орієнтації. Сучасні технології рослинництва передбачають широке застосування засобів захисту рослин, регуляторів росту та інших синтетичних речовин, тоді як у тваринництві використовуються кормові добавки, фармацевтичні препарати та інші засоби технологічного забезпечення виробництва. Наукові дослідження приділяють значну увагу оцінюванню екологічних і санітарно-гігієнічних аспектів використання таких речовин, а також їх можливого впливу на компоненти агроекосистеми та якість продукції.

Посилення уваги споживачів і державних інституцій до екологічних характеристик продовольства зумовлює необхідність розвитку технологій органічного та екологічно орієнтованого виробництва. Водночас формування відповідного ринку створює передумови для розширення виробництва продукції з підвищеними екологічними характеристиками. У зв'язку з цим удосконалення технологій землеробства і тваринництва з урахуванням екологічних вимог є актуальним завданням для сучасних агропромислових підприємств України.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу технологій виробництва сільськогосподарської продукції, що застосовуються в Україні, визначення основних технологічних ознак екологічно орієнтованого

землеробства і тваринництва та зіставлення отриманих результатів із практичним досвідом ПП «Агроекологія».

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань: Проаналізувати сучасні технології сільськогосподарського виробництва з позиції можливості отримання продукції, що відповідає екологічним та органічним вимогам. Дослідити та систематизувати практичний досвід ПП «Агроекологія», зокрема технологічні рішення, упроваджені у виробничу діяльність підприємства. Сформулювати рекомендації щодо адаптації сучасних технологій сільськогосподарського виробництва до вимог екологічно орієнтованого та органічного виробництва в умовах України.

У процесі дослідження застосовано методи наукового спостереження, порівняльного аналізу та узагальнення, що дали змогу систематизувати особливості технологічних підходів до виробництва сільськогосподарської продукції та визначити їх відповідність принципам екологічно орієнтованого господарювання.

Аналіз основних досліджень. Вибір і обґрунтування технологічної системи виробництва є одним із визначальних завдань сучасного сільськогосподарського підприємства. Ефективність технологічних рішень залежить від комплексу чинників, серед яких технічне забезпечення підприємства, потенційна родючість ґрунтів, агрокліматичні умови, економічні можливості виробника, соціальні чинники та особливості функціонування аграрного ринку.

За сучасних умов оцінювання ефективності виробництва не може обмежуватися лише показниками обсягів отриманої продукції. Важливого значення набувають її якісні характеристики, ресурсомісткість технологічних процесів, екологічне навантаження на агроекосистеми, собівартість виробництва та можливості реалізації продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках. У цьому контексті аналіз технологій із позиції їх придатності до екологічно орієнтованого та органічного виробництва є актуальним напрямом наукових досліджень.

Особливого значення набуває вивчення технологічних систем, які забезпечують раціональне використання земельних ресурсів, збереження родючості ґрунту, зменшення негативного впливу виробничих процесів на довкілля та отримання продукції з високими показниками якості. Узагальнення практичного досвіду підприємств, які впроваджують екологічно орієнтовані технології, дає змогу визначити перспективні технологічні рішення для їх подальшого застосування в аграрному виробництві України.

Висновок. Проведений аналіз технологій виробництва продукції рослинництва, що застосовуються в Україні, засвідчив наявність широкого спектра технологічних підходів, зумовлених значним ресурсним потенціалом держави, масштабами сільськогосподарських угідь та її вагомою роллю у міжнародному аграрному виробництві [3]. У сучасному сільському господарстві одночасно застосовуються традиційні технологічні системи та інноваційні підходи, орієнтовані на зниження антропогенного навантаження, збереження родючості ґрунтів і розвиток біологізованого землеробства. Збільшення обсягів

виробництва сільськогосподарської продукції сприяло розширенню експортних можливостей аграрного сектору України. Водночас різні технологічні системи мають неоднаковий вплив на ґрунтові процеси та здатність ґрунту забезпечувати стабільне формування врожайності в довгостроковій перспективі.

За результатами порівняльного аналізу встановлено, що технології No-till та система землеробства, реалізована у ПП «Агроекологія» Миргородського району Полтавської області, характеризуються комплексом технологічних ознак, спрямованих на збереження ґрунтового потенціалу та підтримання його родючості. Важливими чинниками стабільності продукційного процесу за таких технологічних підходів є збереження доступної ґрунтової вологи, підтримання сприятливого водно-фізичного режиму та підвищення родючості ґрунту переважно за рахунок біологічних механізмів. За відповідного дотримання технологічних вимог отримана сільськогосподарська продукція може відповідати встановленим екологічним та органічним вимогам і мати потенціал для реалізації на європейському ринку.

Особливістю технологічної системи, застосовуваної у ПП «Агроекологія», є обмежене використання мінеральних добрив та синтетичних засобів захисту рослин. Такий підхід передбачає орієнтацію виробничого процесу на використання природних і біологічних механізмів регулювання родючості ґрунту та формування продуктивності культур. Багаторічний виробничий досвід підприємства, який охоплює понад 40 років, становить практичний інтерес для оцінювання можливостей тривалого функціонування екологічно орієнтованих систем землеробства та отримання стабільної продукції за умов зменшення залежності від придбання синтетичних засобів удобрення і захисту рослин.

За результатами аналізу впливу окремих факторів на біологічні показники продукції в межах досліджуваних технологічних систем визначено комплексний узагальнюючий показник екологічного землеробства для технології, реалізованої у ПП «Агроекологія», на рівні (+6). Відповідно до прийнятої у дослідженні шкали оцінювання, зазначене значення характеризує високий рівень прояву біологічних процесів у системі сільськогосподарського виробництва.

Отримані результати свідчать про доцільність подальшого дослідження та вдосконалення технологій сільськогосподарського виробництва, орієнтованих на збереження і відтворення родючості ґрунтів, раціональне використання природних ресурсів та зменшення негативного впливу агровиробництва на довкілля. Розвиток таких технологічних систем може розглядатися як один із напрямів підвищення екологічної стійкості аграрного сектору України та забезпечення виробництва продукції з належними показниками якості й безпечності.

Список використаних джерел

1. GORB, Oleg et al. Strengthening Competitiveness of the National Economy by Inhancing Energy Efficiency and Diversifying Energy Supply Sources in Rural Areas. Journal of Environmental Management and Tourism, [S.l.], , n. 5, p. 1114-1123

2. Bialkovska, O., Poprozman, N., Zelenskyi, A., Fedorchuk, N., & Huk, Ya. (2024). Prospects for the introduction of a green economy in the agricultural sector of Ukraine for the next 10 years. Scientific Horizons, 27(6), 163-176.

3. Padalka V., Kulyk M., Rozhko I., Kalinichenko O., Zaritska N., Zos-Kior M., Hnatenko I., Gorbenko O. (2026) Comparison of agricultural production technologies by environmental indicators in the context of the international smart economy. Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development. 2026. Vol. 48. No. 2: 194-207 https://doi.org/10.15544/mts.2026.18

УДК 631.372:656.1

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЧІПНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТІВ

Бурбига Є., Падалка В. В.
Полтавський державний аграрний університет

Підвищення ефективності транспортно-технологічного забезпечення процесів вирощування та обробітку сільськогосподарських культур є одним із важливих завдань сучасного аграрного виробництва, вирішення якого потребує впровадження нових технологічних підходів і конструктивних рішень. Одним із перспективних напрямів є збільшення маси вантажу, що транспортується, шляхом використання причепів підвищеної вантажопідйомності, а також застосування багатоланкових тракторно-транспортних агрегатів (ТТА).

У структурі витрат на вирощування та обробіток сільськогосподарських культур транспортні операції можуть становити до 60–70 % загальних витрат. Особливої актуальності проблема підвищення ефективності транспортних процесів набуває в умовах зон ризикованого землеробства. Специфіка таких умов полягає у необхідності виконання значної частини сільськогосподарських і транспортних операцій у періоди, коли стан опорної поверхні обмежує можливість повної реалізації тягово-зчіпних властивостей колісних рушіїв. У зимовий період це пов’язано з утворенням ожеледиці та значною товщиною снігового покриву, тоді як у літньо-осінній період основним обмежувальним фактором є зниження несучої здатності ґрунту внаслідок його поверхневого перезволоження. За таких умов для своєчасного виконання необхідного комплексу агротехнологічних операцій доцільним є використання тракторно-транспортних агрегатів як альтернативи автомобільному транспорту.

У господарствах Полтавської області, зокрема в малих та селянсько-фермерських підприємствах, для виконання транспортних операцій широко застосовуються відносно недорогі, експлуатаційно надійні та параметрично універсальні трактори тягового класу 1,4–2, як повнопривідного виконання, так і з колісною формулою 4К2. Підвищення ефективності їх використання може забезпечуватися збільшенням обсягу транспортованого вантажу шляхом

формування тракторних поїздів. Водночас одним із суттєвих недоліків багатоланкових тракторно-транспортних поїздів є збільшення ширини транспортного коридору під час виконання поворотів, що може негативно впливати на безпеку руху та ефективність здійснення транспортних операцій.

Додатковим чинником, який ускладнює експлуатацію тракторно-транспортних агрегатів, є виконання транспортних робіт у періоди несприятливого стану ґрунтової поверхні. За умов перезволоження ґрунту зменшується коефіцієнт зчеплення в зоні контакту рушія з опорною поверхнею, а також зростає бічне відведення коліс. Це призводить до погіршення реалізації тягово-зчіпних властивостей колісних рушіїв, зниження стійкості руху та підвищення ризику відхилення агрегату від заданої траєкторії.

Аналіз результатів досліджень, проведених різними авторами [1,2], а також оцінювання сучасного рівня розвитку технічних засобів дали підстави запропонувати новий підхід до вирішення поставленого завдання. Він передбачає оснащення ходової системи тракторно-транспортного агрегату перспективним конструктивним рішенням – довантажувально-перерозподіляючим пристроєм машинно-тракторного агрегату. Застосування такого пристрою забезпечує можливість коригування траєкторії руху тракторного поїзда під час виконання повороту та регулювання його тягово-зчіпних властивостей залежно від умов експлуатації.

Результати проведених теоретичних досліджень дали змогу визначити перспективні напрями вирішення зазначеної науково-технічної проблеми шляхом розроблення та впровадження нових конструктивних рішень. Запропоновані рішення спрямовані на регулювання ширини транспортного коридору тракторно-транспортного агрегату під час виконання поворотів, а також на підвищення його тягово-зчіпних характеристик за несприятливих ґрунтових умов.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на розв’язання наукового завдання з підвищення ефективності використання тракторно-транспортних агрегатів у технологічних процесах обробітку сільськогосподарських культур, сформульовано такі основні висновки:

Проаналізовано основні природно-кліматичні, дорожні та виробничі чинники, характерні для умов експлуатації тракторно-транспортних агрегатів, та встановлено їхній вплив на ефективність виконання транспортних операцій.

Обґрунтовано та експериментально підтверджено вплив параметрів перерозподілу ваги та положення тягово-зчіпного пристрою агрегатованих ланок на ефективність функціонування тракторно-транспортного агрегату. За результатами досліджень визначено раціональні параметри, за яких забезпечується зменшення радіуса повороту та ширини транспортного коридору ТТА під час руху. Встановлено, що оптимальними є: кут повороту дишла причепа – 26–30°; кут повороту план-шайби пристрою, встановленої між трактором і першим причепом, – 35–40°; довжина виходу штока гідроциліндра – 0–0,2 м.

Встановлено також, що зміщення точки з'єднання причепа з трактором безпосередньо впливає на траєкторію руху та радіус повороту причепа, а відповідно – на ширину транспортного коридору тракторно-транспортного агрегату. За встановлених раціональних параметрів таке переміщення забезпечує зміну ширини транспортного коридору в напрямку зовнішнього радіуса повороту на 0,62 м.

Список використаних джерел

1. Giedra, K., & Janulevičius, A. (2005). Tractor ballasting in field transport work. Transport, 20(4), 146–153. DOI: 10.1080/16484142.2005.9638012
2. Fouda, T., Hegazy, R., & Alhamshary, K. (2026). A simulation model to predict agricultural tractor-semi-trailer combination traction performance under different operating conditions. Scientific Reports, 16, 13000. DOI: 10.1038/s41598-026-47522-6

УДК 631.3:534.1

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ ГАРМОНІЙНИХ КОЛИВАНЬ ЗНАРЯДДЯ З НЕЗАЛЕЖНИМ КРІПЛЕННЯМ ТА ДВОМА ОПОРНИМИ КОТКАМИ ДЛЯ МАШИН РОСЛИННИЦТВА

Падалка В.В., Горбенко О.В., Чумак М.В.
Полтавський державний аграрний університет

Продовольча та економічна безпека України значною мірою визначається ефективністю функціонування аграрного виробництва та рівнем його технічного забезпечення. Одним із ключових напрямів підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва є вдосконалення конструкцій машин і робочих знарядь, що забезпечують якісне та стабільне виконання технологічних операцій. Особливого значення набуває забезпечення заданих параметрів технологічного процесу під час виконання ґрунтообробних і посівних операцій, оскільки рівномірність обробітку ґрунту та стабільність глибини ходу робочих органів безпосередньо впливають на умови проростання і розвитку сільськогосподарських культур.

У сучасних умовах експлуатації сільськогосподарські машини функціонують у складному динамічному середовищі, що характеризується нерівномірністю опорної поверхні, зміною фізико-механічних властивостей ґрунту, наявністю локальних нерівностей та інших збурювальних факторів. Унаслідок цього робочі органи машин здійснюють складний просторовий рух, який супроводжується вертикальними переміщеннями та коливаннями. Дослідження динамічної взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин із ґрунтом є актуальним напрямом сучасних досліджень у галузі сільськогосподарського машинобудування [1, 2].

За конструктивним способом приєднання до енергетичного засобу сільськогосподарські машини умовно поділяють на причіпні, навісні та напівпричіпні. Вибір відповідної схеми з'єднання визначається конструктивними особливостями агрегату, характером технологічної операції та вимогами до траєкторії руху робочих органів. У машинах для обробітку ґрунту важливим є забезпечення раціонального способу кріплення робочих знарядь або їх секцій до рами енергетичного засобу. Це стосується, зокрема, секцій сівалок, культиваторних лап, котків та інших робочих елементів.

За характером кінематичного зв'язку між енергетичним засобом і робочим знаряддям можна виділити гнучке, жорстке одноважільне та жорстке багатоважільне кріплення (рис. 1). Кожна з наведених схем характеризується певною кількістю ступенів вільності та відповідною траєкторією руху робочого знаряддя.

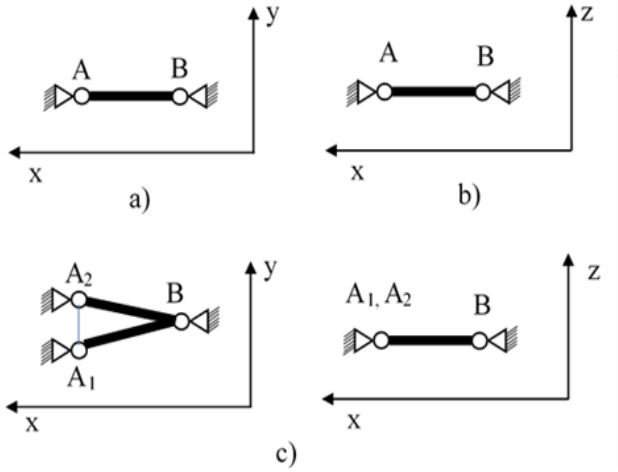


Рис 1. Схеми з’єднання машин та енергозасобу

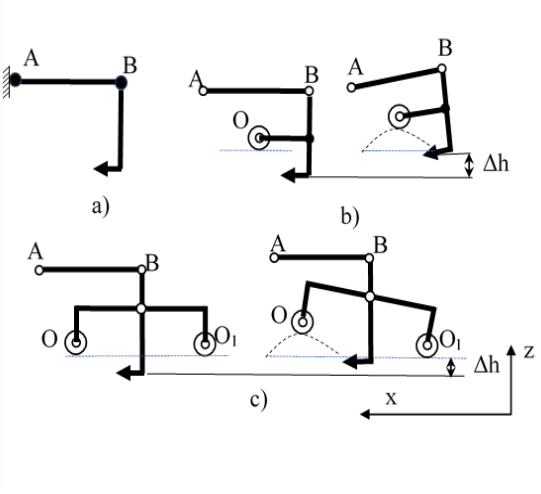


Рис.*2* Схами кріплення робочих знарядь до рами енергозасобу (тягача)

Гнучке з'єднання (рис. 1а) забезпечує відносну рухомість робочої машини щодо енергетичного засобу. За умови шарнірного з'єднання точок *A* і *B* робоча машина може здійснювати переміщення у відповідних координатних площинах *x, y, z*. Перевагами такої схеми є конструктивна простота та відносна технологічність її реалізації. За прямолінійного рівномірного руху робоче знаряддя загалом повторює траєкторію руху енергетичного засобу. Водночас наявність значної кількості ступенів вільності зумовлює можливість виникнення додаткових переміщень і коливань під дією інерційних та зовнішніх сил

Жорстке одноважільне кріплення (рис. 1б) є конструктивним розвитком гнучкого з'єднання. У цьому випадку точки *A* і *B* з'єднані жорстким важелем, довжина якого залишається сталою. Такий кінематичний зв'язок обмежує відносне переміщення робочої машини та забезпечує більш визначену траєкторію її руху. Водночас під час зміни напрямку руху або дії інерційних сил можливе виникнення ефекту «набігання» робочої машини на енергетичний засіб, що супроводжується зміною її просторового положення. Тому ефективність

такої схеми значною мірою залежить від маси агрегату, геометричних параметрів важеля та умов експлуатації.

Триточкове (багатоважільне) кріплення (рис. 1в) характеризується більш жорстким кінематичним зв'язком між робочим знаряддям та енергетичним засобом. Використання двох важелів дає змогу обмежити кількість ступенів вільності системи та забезпечити керований рух робочого знаряддя. Така схема широко застосовується в конструкціях сільськогосподарських машин, оскільки забезпечує можливість переміщення робочого органу у вертикальній площині відповідно до рельєфу опорної поверхні.

Траєкторія руху робочого знаряддя є одним із визначальних чинників якості виконання технологічних операцій у рослинництві. Зокрема, під час ґрунтообробних і посівних робіт важливе значення має стабільність глибини ходу робочих органів та мінімізація їх відхилення від заданого положення. Недотримання встановленої глибини обробітку може призводити до нерівномірності технологічного процесу, що, своєю чергою, впливає на умови розвитку рослин та кінцеву продуктивність посівів.

З огляду на це важливим напрямом удосконалення конструкцій сільськогосподарських машин є застосування систем кріплення, які забезпечують ефективне копіювання рельєфу опорної поверхні. За цією ознакою можна виділити жорстке кріплення, вільне кріплення з однією опорною точкою та вільне кріплення з двома опорними точками (рис. 2).

За жорсткого кріплення (рис. 2а) робоче знаряддя безпосередньо пов'язане з рамою енергетичного засобу. Основною перевагою такої схеми є конструктивна простота та можливість швидкого переведення робочої машини в транспортне положення. Водночас траєкторія руху робочого органу безпосередньо залежить від вертикальних переміщень рами енергетичного засобу. Тому така схема має обмежені можливості копіювання нерівностей поверхні ґрунту та доцільна переважно для технологічних операцій, які не потребують високої точності підтримання заданої глибини ходу.

Вільне кріплення з однією опорною точкою (рис. 2б) передбачає можливість відносного переміщення робочого знаряддя щодо точки його приєднання до енергетичного засобу. За такої конструкції траєкторія робочого органу значною мірою визначається переміщенням опорного колеса або котка *О*. До переваг цієї схеми належить можливість часткового копіювання рельєфу опорної поверхні. Разом із тим вертикальне положення робочого органу залежить від геометричних параметрів важільного механізму, зокрема від відстані між точкою кріплення та опорною точкою. Це може зумовлювати додаткові відхилення робочого органу від заданої глибини.

Вільне кріплення з двома опорними точками (рис. 2в) забезпечує більш стабільне положення робочого знаряддя відносно опорної поверхні. Використання двох опорних котків дає змогу зменшити вплив локальних нерівностей поверхні на положення робочого органу та підвищити точність копіювання рельєфу. Водночас така конструкція має складнішу кінематичну

схему та потребує врахування динамічних властивостей системи, зокрема власних коливань її елементів.

Відхилення робочого знаряддя у вертикальній площині визначається сукупною дією низки факторів: нерівномірністю опорної поверхні, наявністю грудок і локальних нерівностей ґрунту, фізико-механічними та реологічними властивостями ґрунту, конструктивними параметрами важільного механізму, масо-інерційними характеристиками його елементів, а також власними коливаннями механічної системи.

Особливого значення в цьому контексті набувають власні гармонійні коливання системи кріплення робочого знаряддя [3]. За певних швидкостей руху та геометричних параметрів механізму частота зовнішнього збурення може наближатися до власної частоти системи, що створює передумови для збільшення амплітуди вертикальних переміщень. Це може негативно впливати на стабільність глибини ходу робочих органів і, відповідно, на якість виконання технологічного процесу.

Таким чином, дослідження динамічних характеристик системи незалежного кріплення робочого знаряддя з двома опорними котками є важливим завданням під час розроблення та вдосконалення конструкцій сільськогосподарських машин. Визначення власних частот і характеру коливань такої системи дає змогу оцінити її динамічну стійкість та обґрунтувати раціональні конструктивні параметри.

Метою роботи є розроблення теоретичної моделі та дослідження власних гармонійних коливань робочого знаряддя з незалежним кріпленням і двома опорними котками, а також визначення впливу конструктивних параметрів механізму на динамічні характеристики системи.

Завдання дослідження Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: Проаналізувати кінематичні схеми кріплення робочих знарядь до енергетичних засобів та визначити їх вплив на характер руху в вертикальній площині. Обґрунтувати раціональні конструктивні параметри елементів системи кріплення з урахуванням вимог до стабільності траєкторії та заданої глибини ходу робочого знаряддя.

Висновки. Розроблено еквівалентну схематичну модель руху коливальної системи важільного механізму з двома точками опори на поверхню, конструктивне виконання якої є актуальним для сільськогосподарських машин і знарядь, що застосовуються в технологічних процесах рослинництва. Запропонована модель спрямована на дослідження динамічних характеристик робочого знаряддя та забезпечення стабільності його переміщення у вертикальній площині. Для ґрунтообробних і посівних машин важливо забезпечити мінімальні відхилення траєкторії та глибини ходу робочих органів, оскільки їх нестабільність може негативно впливати на якість виконання технологічної операції та відповідні експлуатаційні показники.

Аналіз існуючих кінематичних схем зчеплення робочих знарядь з енергетичним засобом (тягачем) показав, що підвищенню стійкості їх руху у вертикальній площині може сприяти незалежне приєднання з одним рухомим

кінематичним ланцюгом та двома точками опори знаряддя на поверхню. Така конструктивна схема створює передумови для ефективного копіювання нерівностей опорної поверхні та забезпечує формування траєкторії руху робочого знаряддя, близької до усередненої траєкторії його переміщення між двома опорними колесами. Це, своєю чергою, може сприяти підвищенню стабільності положення робочих органів у вертикальній площині.

Список використаних джерел

1. Padalka, V., Gorbenko, O., Khvostenko, D., Lazorenko, A., & Alpidovskyi, V. (2026). Construction of a theoretical model of oscillations of a tillage (seeding) implement with independent mounting and two support rollers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(7 (140), 72–80. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.356828

2. Rud, A. (2025). Analysis of deformation characteristics of spring elements of tillage tools under dynamic loads. Machinery & Energetics, 16(1), 43-53. doi: 10.31548/machinery/1.2025.43

3. V. Padalka, S. Liashenko, A. Kalinichenko, O. Burlaka, V. Sakalo and Y. Padalka, "Modeling of Resonance Phenomena in Self-Oscillating System of Agricultural Machines," 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598763.

УДК 536.626.1, 631.572

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сердюк І., Падалка В.В.
Полтавський державний аграрний університет

Забезпечення екологічної стійкості сучасного суспільства передбачає прискорене впровадження енергоощадних технологій та широке використання відновлюваних джерел енергії. Поряд із традиційними видами відновлюваної енергетики, зокрема сонячною, гідро-, вітровою та геотермальною, значний ресурсний потенціал становить рослинна біомаса. Її використання як сировини для виробництва біопалива створює передумови для часткової заміни викопних енергоресурсів та підвищення рівня енергетичної стійкості. У зв’язку з цим актуальним науковим завданням є дослідження й обґрунтування енергетичних характеристик сільськогосподарських культур, які можуть бути використані як відновлювана паливна сировина.

Рослинна біомаса, представлена деревними, чагарниковими та трав’янистими видами, характеризується комплексом фізико-хімічних і паливних властивостей. Основними показниками, що визначають її енергетичну

цінність та придатність до використання як біопалива, є вища і нижча теплота згоряння, зольність, температура та характеристики плавлення золи, елементний і хімічний склад, а також інші параметри, що впливають на процеси термохімічного перетворення біомаси.

Наукова новизна проведеного дослідження полягає у розробленні методичного підходу та проведенні експериментальних і порівняльних досліджень щодо визначення відносних показників теплотворної здатності органічних матеріалів рослинного походження. Для реалізації поставленого завдання запропоновано лабораторне обладнання з елементами мехатронних систем, конструктивні та функціональні рішення якого забезпечують можливість проведення відповідних вимірювань із використанням доступної матеріально-технічної бази.

Для експериментального визначення теплотворної здатності кожного виду енергетичної культури досліджували попередньо висушену рослинну сировину. Вимірювання проводили за допомогою розробленої лабораторної установки (рис.1.), умовно визначеної як «біопаливний аналізатор». Конструкцію та виготовлення лабораторної установки здійснено з урахуванням вимог чинних технічних регламентів і відповідних умов проведення експериментальних досліджень.

Відповідно до поставленої мети наукового дослідження, застосування розробленої лабораторної установки дає змогу експериментально визначати та порівнювати низку теплотехнічних характеристик процесів горіння біологічних матеріалів рослинного походження [1, 2]. До основних досліджуваних показників належать нижча теплота згоряння та зольність рослинних зразків, які є важливими параметрами оцінювання їх енергетичної цінності та придатності для використання як твердого біопалива.



Лабораторна установка (зовнішній вид) 5 – витяжна шафа; 8 – корпус лабораторної установки; 9 – завантажувальне вікно; 10 – вимірювальний блок

Передумови проведення лабораторних досліджень. Особливості займання дослідного матеріалу. Досліджувані матеріали за своїми фізико-хімічними властивостями належать до речовин із низькою здатністю до самостійного

займання. У зв'язку з цим для ініціювання процесу горіння на початковому етапі необхідно застосовувати зовнішнє джерело займання у вигляді відкритого полум'я. При визначенні теплотворної здатності зразка необхідно враховувати тепловий внесок стороннього джерела займання та забезпечити його коректне відокремлення від теплового ефекту досліджуваного матеріалу.

Нелінійний характер тепловиділення під час горіння. Процес горіння досліджуваного матеріалу супроводжується виділенням теплової енергії, інтенсивність якого змінюється в часі та має нелінійний характер. Така особливість є важливою з погляду оцінювання експлуатаційних характеристик палива в енергетичних установках, оскільки швидкість і тривалість тепловиділення можуть впливати на ефективність його використання. Тому дослідження процесу горіння доцільно здійснювати не лише за кінцевим тепловим ефектом, а й з урахуванням його часової динаміки.

Принцип експериментального визначення нижчої теплоти згоряння. Визначення нижчої теплоти згоряння органічних зразків рослинного походження ґрунтується на експериментальному вимірюванні кількості теплової енергії, переданої енергоакумулюючій рідині внаслідок згоряння заданої маси досліджуваного матеріалу. За результатами вимірювання зміни теплового стану енергоакумулюючого середовища та з урахуванням маси зразка визначають його теплотворну здатність.

Необхідність калібрування лабораторної установки. Для забезпечення достовірності та відтворюваності експериментальних результатів необхідно здійснювати калібрування лабораторної установки із використанням матеріалів із відомою теплотою згоряння. Результати калібрувальних досліджень дають змогу визначити диференціальний коефіцієнт або коефіцієнт інструментальної похибки експериментальної установки. Під час його встановлення необхідно враховувати комплекс чинників, зокрема неповне передавання виділеної теплоти енергоакумулюючій рідині, теплові витрати на нагрівання конструктивних елементів установки, повітря та дослідного матеріалу, втрати енергії внаслідок випаровування енергоакумулюючої рідини, а також інші неконтрольовані теплові втрати.

Експериментальне визначення енергетичних характеристик. Основною метою лабораторних досліджень є експериментальне визначення нижчої теплоти згоряння органічних матеріалів рослинного походження та встановлення закономірностей зміни цього показника залежно від виду й характеристик досліджуваної сировини.

Порівняльне оцінювання паливних сумішей. Додатковим завданням дослідження є експериментальне порівняння експлуатаційних характеристик процесу горіння паливних матеріалів, отриманих шляхом формування сумішей різних видів органічної сировини рослинного походження. Такий підхід дає змогу оцінити вплив компонентного складу суміші на її теплотворну здатність та характер тепловиділення під час горіння.

Суху рослинну сировину кожного виду енергетичної культури досліджували із використанням прототипу лабораторної установки «біопаливний аналізатор».

Результати експериментів засвідчили відповідність показників теплотворної здатності рослинної біомаси, отриманих із використанням розробленої лабораторної установки, визначеним за допомогою стандартної калориметричної бомби. Статистичний аналіз підтвердив значущість встановлених відмінностей на рівні $p < 0,05$ за критерієм $LSD_{0.05}$.

У межах експериментального дослідження визначено теплотворну здатність шести зразків рослинної сировини. Для рицини (Ricinus communis) встановлено значення 9,78 МДж/кг, сорго (Sorghum) — 17,97 МДж/кг, світчграсу (Panicum virgatum) — 14,71 МДж/кг, павловнії (Paulownia) — 10,67 МДж/кг, сіди (Sida hermaphrodita) — 13,93 МДж/кг, а щавнату (Rumex patientia × Rumex tianschanicus) — 12,35 МДж/кг. Отримані результати характеризують варіабельність теплотворної здатності досліджуваних видів рослинної біомаси.

Список використаних джерел

1. Padalka, V., Gorbenko, O., Kulyk, M., & Chumak, M. (2026). Determination of the lower calorific value of biomass using mechatronic system elements. Scientific Progress & Innovations, 29(2), 205–210. https://doi.org/10.31210/spi2026.29.02.28

2. Калориметрична установка для визначення нижчої теплоти горіння матеріалів рослинного походження : пат. 157625, Україна: МПК (2024.01), G01N 25/00 / В. В. Падалка, О. В. Горбенко, М. І. Кулик, О. М. Костенко, В. О. Шейченко, О. В. Петраш, І. І. Рожко, О. М. Іванов ; володілець Полтавський державний аграрний університет. № u202402291; заявл. 30.04.2024 ; опубл. 07.11.2024, Бюл. № 45.

УДК 631.3:629.114.2:629.11.012.5

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ В ТЕХНОЛОГІЯХ БІОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Слизький А., Падалка В. В.
Полтавський державний аграрний університет

Концепція виробництва органічної продукції передбачає поетапне впровадження принципів біологізованого землеробства. На першому етапі передбачається біологізація окремих елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур [1], що сприяє відновленню та підвищенню родючості ґрунту, а також одночасному зменшенню хімічного і техногенного впливу на ґрунтове середовище до екологічно допустимого рівня.

До основних біологічних заходів, спрямованих на підвищення родючості ґрунту, належать зменшення його ущільнення, застосування короткоротаційних сівозмін із включенням сидерального пару як альтернативи використанню мінеральних добрив, а також максимально можливе повернення нетоварної частини врожаю — стерні та пожнивних решток — у ґрунт як органічного

добрива. Використання відповідного технологічного прийому та універсального технічного засобу для реалізації зазначених заходів у сівозмінах біологізованого землеробства дасть змогу істотно підвищити ефективність виробництва сільськогосподарської продукції.

За природно-кліматичними умовами найбільш сприятливою територією Полтавської області для виробництва екологічно безпечної продукції основних сільськогосподарських культур, зокрема сої, зернових культур і картоплі, є її південна частина. У період виконання польових робіт середня температура повітря може становити +25…+27 °С, при цьому значна частина річної кількості опадів припадає на другу половину літа. Поєднання достатньої кількості тепла та вологи створює сприятливі умови для інтенсивнішої мінералізації органічної речовини ґрунту.

Ґрунтовий покрив Полтавської області переважно представлений важкими суглинковими ґрунтами, підстеленими глинистою материнською породою. У період проведення польових робіт такі ґрунти можуть періодично перезволожуватися, характеризуються недостатньою несучою здатністю та підвищеною схильністю до переущільнення під дією рушіїв машин і робочих органів ґрунтообробних агрегатів. Для зменшення ущільнюючого впливу технічних засобів на ґрунт та забезпечення виконання технологічних операцій із загортання сидеральної маси, стерні у сівозмінах біологізованого землеробства доцільним є застосування тракторів тягового класу 1,4–2,0.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності використання колісних тракторів під час виконання основного обробітку ґрунту є покращення їх тягово-зчіпних властивостей. Це може бути забезпечено шляхом застосування активних ґрунтообробних робочих органів, рушійна сила яких використовується як додатковий тяговий фактор, одночасно з виконанням технологічної операції та забезпеченням подальшого переміщення машинно-тракторного агрегату. Такий підхід створює передумови для підвищення ефективності використання тягових та енергетичних можливостей агрегату.

У Полтавській області нині здійснюються роботи, спрямовані на біологізацію технологій вирощування сільськогосподарських культур. Основною метою цих заходів є зниження виробничих витрат за одночасного забезпечення високої врожайності та отримання екологічно безпечної продукції рослинництва. Однією з технологічних операцій біологізованого землеробства є поліпшення тягово-зчіпних властивостей за рахунок використання активних ґрунтообробних органів, шляхом використання їх рушійної сили, як додаткового провідного мосту, з одночасним виконанням технологічного процесу і подальшим перекладом МТА (машинно-тракторного агрегату)

Рівень забезпеченості сільськогосподарською технікою в Полтавській області залишається недостатнім, водночас потреба в ній щорічно зростає. Підвищення навантаження на машинно-тракторний парк, що визначається кількістю гектарів ріллі в розрахунку на один трактор, частково компенсується придбанням потужних тракторів високих тягових класів. Однак використання таких машин супроводжується значним техногенним впливом на ґрунт, зокрема

підвищеним ущільненням, що може негативно позначатися на його агрофізичних властивостях та родючості.

Основна частина польових механізованих робіт, з огляду на природно-кліматичні особливості регіону, виконується в періоди, коли ґрунт характеризується недостатньою несучою здатністю. Для підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів і одночасного зменшення їх негативного техногенного впливу на ґрунтове середовище у більшості сільськогосподарських підприємств застосовують спарені колеса.

Широкозахватні ґрунтообробні агрегати, які використовуються в області, переважно призначені для роботи на значних за площею земельних масивах із великою довжиною гону. Водночас на дрібноконтурних полях зі складним рельєфом застосування таких агрегатів є малоефективним, а в окремих випадках - технічно неможливим.

На основі теоретичних досліджень і виконаних аналітичних розрахунків визначено конструктивно-технологічну схему та обґрунтовано раціональні режимно-конструктивні параметри агрегату з модернізованим роторним плугом. Встановлено такі параметри: діаметр сферичного диска — 0,66 м; міждискова відстань ротора — 0,23 м; кут атаки ротора — 24°; ширина стійки ґрунтопоглиблювача — 0,16 м; глибина встановлення ґрунтопоглиблювачів — 0,25 м; відстань між ґрунтопоглиблювачами на рамі машини — 1,4 м; розрахункова частота обертання ротора — 385 $хв^{-1}$. Визначено також оптимальні параметри ширини захвату агрегату — 2,4±0,2 м та робочої швидкості — 3,1±0,2 м/с.

Список використаних джерел

1. Padalka V., Kulyk M., Rozhko I., Kalinichenko O., Zaritska N., Zos-Kior M., Hnatenko I., Gorbenko O. (2026) Comparison of agricultural production technologies by environmental indicators in the context of the international smart economy. Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development eISSN 2345-0355. 2026. Vol. 48. No. 2: 194-207

УДК 631.3:629.114.2:629.11.012.5

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ ДОВАНТАЖУВАЛЬНО-ПЕРЕРОЗПОДІЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ ВУЗЛА ЗЧЕПЛЕННЯ

Цюпа О., Падалка В. В.
Полтавський державний аграрний університет

Дотримання оптимальних строків збирання та транспортування сільськогосподарської продукції є важливою складовою ефективного функціонування аграрного виробництва. Особливої актуальності це питання набуває в регіонах, де своєчасність вивезення врожаю значною мірою визначається природно-кліматичними умовами. Водночас істотний вплив на

організацію транспортного процесу мають технічні можливості сільськогосподарських товаровиробників, зокрема рівень їх забезпечення мобільними транспортно-енергетичними засобами (ТЕЗ), представленими автомобільною технікою, що використовується для транспортування продукції в межах технологічного комплексу.

Сучасні багатоцільові автомобілі з високою вантажопідйомністю забезпечують значні обсяги перевезень та мають низку експлуатаційних переваг. Водночас одним із їх суттєвих обмежень є недостатні тягово-зчіпні властивості під час руху по ґрунтових поверхнях із низькою несучою здатністю. У таких умовах зниження зчеплення рушіїв із ґрунтом може призводити до погіршення прохідності транспортного засобу, збільшення буксування та зниження ефективності транспортного забезпечення технологічного процесу.

Оскільки транспортування сільськогосподарської продукції має здійснюватися безперервно та у встановлені агротехнологічні строки, виникає необхідність підвищення прохідності транспортних засобів без суттєвого збільшення витрат на їх технічне переоснащення. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є підвищення тягово-зчіпних властивостей транспортно-енергетичного засобу шляхом зменшення питомого тиску на ґрунт та раціонального використання зчіпної ваги. Практичний інтерес у цьому контексті становить експлуатація ТЕЗ у складі автопоїзда із застосуванням спеціальних конструктивних пристроїв, призначених для коригування розподілу зчіпної ваги між осями та підвищення ефективності взаємодії рушіїв із ґрунтовою поверхнею [1. 2].

З огляду на зазначене, метою дослідження є обґрунтування конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності транспортного забезпечення збирання врожаю та забезпечення своєчасного вивезення сільськогосподарської продукції з полів із використанням високопрохідних автомобілів середньої вантажопідйомності.

Об’єкт дослідження. Технологічний транспортний агрегат на базі великовантажного сільськогосподарського автомобіля (ВСА), обладнаного арочними шинами, довантажувально-перерозподільним пристроєм та причепом, під час виконання транспортно-технологічної операції зі збирання та вивезення сільськогосподарської продукції.

Предмет дослідження. Закономірності та чинники підвищення ефективності використання автотранспортного агрегату під час збирання і транспортування врожаю в умовах ґрунтів із низькою несучою здатністю, з урахуванням зміни тягово-зчіпних властивостей та перерозподілу зчіпної ваги.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні можливості розширення сфери ефективного застосування наявних великовантажних сільськогосподарських автомобілів без значного підвищення експлуатаційних витрат і вартості технічного переоснащення. Встановлено та обґрунтовано закономірності перерозподілу зчіпної ваги автотранспортного агрегату під час використання довантажувально-перерозподільного пристрою, а також

визначено його вплив на тягово-зчіпні характеристики транспортного засобу під час виконання транспортної операції.

Збирання врожаю є завершальною та відповідальною стадією технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур. Своєчасність і якість виконання збиральних робіт безпосередньо впливають на обсяги та якість отриманої продукції. Особливого значення це набуває в регіонах, де проведення збирально-транспортних операцій ускладняється несприятливими природно-кліматичними умовами, зокрема перезволоженням або, навпаки, тривалою посухою. Збільшення тривалості періоду збирання за таких умов може спричиняти зростання втрат зернової частини врожаю та зниження ефективності виробництва.

В умовах Полтавської області збирання врожаю, зокрема технічних культур, часто припадає на період підвищеної кількості атмосферних опадів у вигляді дощу або дощу зі снігом. Наслідком цього є перезволоження поверхневого шару ґрунту, що істотно погіршує умови руху колісних енергетичних засобів, задіяних у транспортуванні зібраної продукції з поля. Водночас у сільськогосподарських підприємствах спостерігається недостатня забезпеченість колісними енергетичними засобами підвищеної прохідності, здатними ефективно виконувати транспортні операції із застосуванням причепів на ґрунтах із низькою несучою здатністю.

Обмежена прохідність транспортних засобів у складних ґрунтових умовах призводить до зниження продуктивності транспортного процесу, збільшення тривалості перевезень і непродуктивних витрат палива та ресурсів. У результаті зростають загальні транспортні витрати, що негативно позначається на економічній ефективності виробництва та собівартості сільськогосподарської продукції.

Необхідність збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції з урахуванням виробничих і природно-кліматичних умов регіону зумовлює потребу в пошуку технічних та технологічних рішень, спрямованих на підвищення продуктивності наявних транспортних агрегатів.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що підвищення ефективності використання колісних транспортних агрегатів під час виконання транспортно-технологічних операцій у сільськогосподарському виробництві, особливо на ґрунтах із низькою несучою здатністю, потребує покращення їхніх тягово-зчіпних властивостей та підвищення прохідності.

Аналіз моделей вантажних транспортних засобів і причіпних систем, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві регіону, дає підстави розглядати як перспективний варіант автопоїзд у складі повнопривідного середньотонажного автомобіля та причепа. Така конструкція створює передумови для регулювання тягово-зчіпних властивостей агрегату та адаптації його експлуатаційних характеристик до конкретних ґрунтово-дорожніх умов.

Для підтвердження ефективності запропонованих конструктивних рішень та їх подальшого виробничого впровадження необхідним є виконання комплексу дослідно-конструкторських робіт, а також проведення детальних теоретичних і

експериментальних досліджень. Особливу увагу доцільно приділити визначенню впливу перерозподілу зчіпної ваги на тягово-зчіпні характеристики, прохідність, буксування та продуктивність транспортного агрегату.

Підвищення ефективності використання великовантажного сільськогосподарського автомобіля у транспортно-технологічному забезпеченні збирального процесу може бути досягнуте шляхом зниження питомого тиску рушіїв на ґрунт за рахунок застосування арочних шин та підвищення тягово-зчіпних властивостей шляхом регулювання зчіпної ваги. Збільшення частки зчіпної ваги, що припадає на ведучі колеса автомобіля, може забезпечуватися шляхом її перерозподілу в межах транспортного агрегату.

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що застосування довантажувального модуля забезпечує збільшення зчіпної ваги, що припадає на передню ведучу вісь автомобіля. За результатами досліджень встановлено, що зі збільшенням зчіпної ваги з 2 до 12 кН величина буксування автомобіля на арочних шинах із довантажувальним модулем зменшується на 30–35 %. Отримані результати свідчать про позитивний вплив перерозподілу зчіпної ваги на тягово-зчіпні характеристики транспортного агрегату.

За результатами досліджень встановлено, що після проходження серійного автомобіля без вантажу по польовій поверхні глибина утвореної колії становила 0,12–0,15 м, тоді як після проходження автомобіля, обладнаного арочними шинами, вона зменшувалася до 0,02–0,06 м. За однакового вагового навантаження використання автомобіля з арочними шинами забезпечувало формування колії глибиною 0,06–0,09 м. У разі експлуатації автомобіля на арочних шинах у складі автопоїзда з причепом, також обладнаним арочними шинами, глибина колії становила 0,10–0,13 м.

Отримані результати характеризують зниження глибини деформації ґрунту під час застосування арочних шин і можуть бути враховані під час оцінювання впливу транспортних засобів на польову поверхню. За наведених умов необхідність виконання додаткових операцій з ліквідації утвореної колії перед проведенням наступних посівних робіт може бути зменшена. Подальше зниження вираженості техногенних деформацій ґрунту може відбуватися внаслідок природних процесів його промерзання та відтавання в осінньо-зимовий і весняний періоди.

Список використаних джерел

1. Håkansson, I., Reeder, R. C. (1994)**.** *Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response.* Soil and Tillage Research, 29(2–3), 253–276. DOI**:** 10.1016/0167-1987(94)90064-7

2. Raper, R. L. (2005). Agricultural traffic impacts on soil. Journal of Terramechanics, 42(3–4), 259–280. DOI: 10.1016/j.jterra.2004.10.010

УДК 631.356.2

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОЧИСНИХ МОДУЛІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Паньків М. Р., Паньків В. Р.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Дубчак Н. А.
ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Постановка проблеми. Розроблені математичні моделі, які описують функціональні процеси сепарації, або відокремлення домішок (грунтових і рослинних) від коренеплодів в процесі їх механізованого збирання є одноетапними, або узагальнюючими. На їх основі розгляд процесу відокремлення домішок від коренеплодів розглядається в контексті одноразового та одночасного протікання процесу на всьому шляху переміщення компонентів коренеплодів і домішок на поверхні одного робочого органу очисної системи загалом [1].

Це значно звужує математичний опис процесу сепарації домішок і не достатньо описує реальну візуалізацію об’єкта дослідження, або процес відокремлення структурних компонентів домішок від коренеплодів.

Аналіз останніх досліджень. На основі проведеного аналізу наукових досліджень методології розроблення математичних моделей, які функціонально описують реалізацію технологічних процесів складних технічних систем можна констатувати, що приймаючи до уваги значні наукові здобутки та обсяги відомих методів і принципів побудови конструктивно-технологічних схем й математичних моделей, є певні обмеження та наслідкові причини їх застосування для оптимізації процесів і параметрів робочих органів й для задовільного відокремлення домішок від коренеплодів у важких умовах роботи коренезбиральних машин [2, 3].

Мета дослідження. Удосконалення методології розроблення механіко-технологічних моделей складних технічних систем очищення коренеплодів від компонентів домішок.

Результати досліджень. Формалізована сутність, або цінність детермінованої моделі полягає в тому, що вона дозволяє в об’єкті дослідження, який взаємодіє з середовищем виділити загальні контури та властивості формальної технічної системи в певний період часу, яка в подальшому буде регламентувати систему-модель формальної технічної системи *МФТС* (рис. 1).

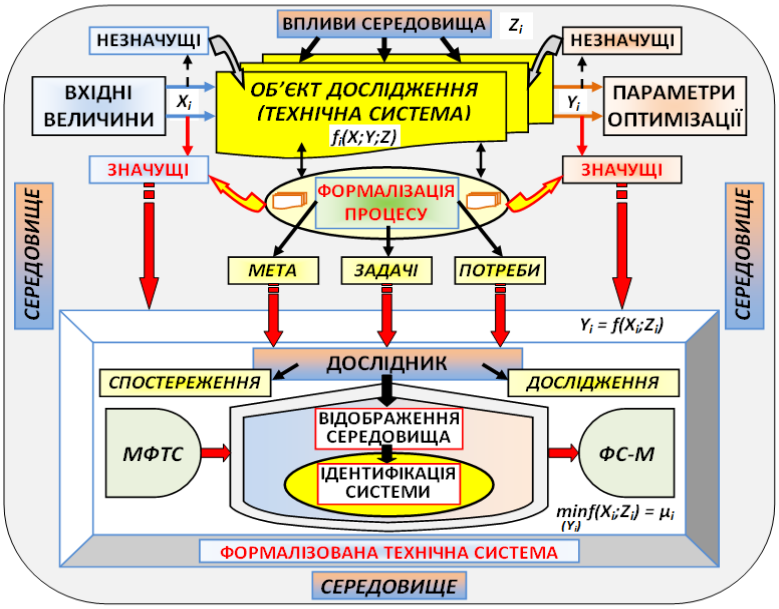


Рис. 1. Схема формування процесу розроблення функціональної моделі складної технічної системи

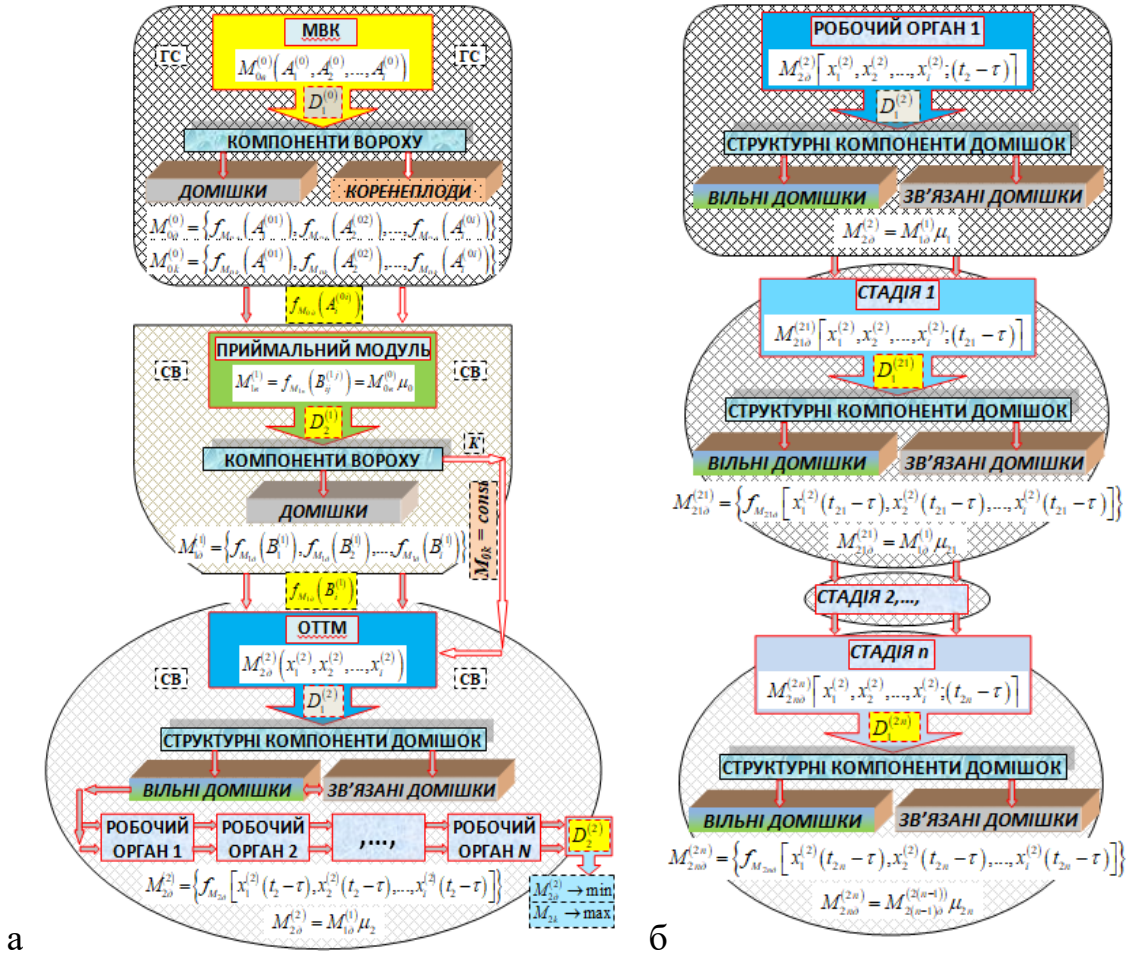
Процес конструктивної розроблення механіко-технологічної моделі очисних транспортно-технологічних модулів (ОТТМ) коренезбиральних машин, яку побудовано у вигляді комбінованих очисних систем для інтенсифікації процесу відокремлення структурних компонентів домішок від коренеплодів проілюстровано блок-схемами, які наведено на рис. 2.

В основу розроблення покладено метод і принцип моделювання на основі динамічного програмування Беллмана із застосуванням багатостадійної оптимізації за методом академіка Л. Погорілого з доповненням етапу транспортного запізнення переміщення вороху.

За принципом Беллмана, оптимальна стратегія динамічної моделі із застосуванням багатостадійної оптимізації має певну властивість стану (показника, параметра тощо), що хоч би якими були початковий стан і початкове рішення початкового стану, наступні рішення динамічної моделі мають становити оптимальний курс дій щодо стану, який отримано в результаті першого попереднього рішення.

На схемі рис. 1 позначено: МВК – модуль викопування коренеплодів; ГС – грунтове середовище; СВ – середовище вороху; K – коренеплоди; $D_1^{(0)}$, $D_2^{(1)}$; $D_1^{(2)}$, $D_2^{(2)}$ – стан об'єкту дослідження (початковий, заданий оптимум стану); $A_1^{(0)}$, $A_2^{(0)}$, $A_i^{(0)}$ – відповідно, структурні параметри процесу викопування коренеплодів робочими органами МВК; $B_1^{(1)}$, $B_2^{(1)}$, $B_i^{(1)}$ – відповідно, структурні параметри процесу сепарації домішок приймальним модулем; $x_1^{(2)}$, $x_2^{(2)}$, $x_i^{(2)}$ – відповідно, структурні параметри процесу відокремлення домішок від коренеплодів робочими органами ОТТМ; $M_{0в}^{(0)}$, $M_{0д}^{(0)}$, $M_{0k}^{(0)}$ – відповідно, маса вороху, маса домішок і маса коренеплодів які подаються на робочі органи приймального

модуля; $M_{1в}^{(1)}$, $M_{1д}^{(1)}$ – відповідно, маса вороху та маса домішок, які подаються на робочі органи ОТТМ; $M_{2д}^{(2)}$ – вихідна (задана) маса домішок; μ_1, μ_2 – коефіцієнти сепарації домішок; t_2, t_{21} – відповідно, загальний час переміщення домішок робочими органами ОТТМ і робочим органом 1 на стадії 1; τ – час транспортного запізнення руху складових компонентів домішок і коренеплодів.



а б

Рис. 2 – Блок-схема розроблення механіко-технологічної моделі: а – процесу відокремлення домішок від коренеплодів; б – постадійного процесу відокремлення домішок від коренеплодів на одному робочому органі ОТТМ

Крім того, в основу методології принципів розроблення механіко-технологічної моделі процесу роботи ОТТМ покладено запропонований метод поетапного (багатостадійного) відокремлення структурних компонентів домішок від коренеплодів одним робочим органом (наприклад, робочим органом 1, див. рис. 1), суть якого проілюстровано блок-схемою, яку наведено на рис. 2.

При цьому, ефективність роботи ОТТМ кардинально залежить від технологічних аспектів роботи попередніх транспортно-технологічних модулів, які виконують початкові постадійні операції збирання основного масиву гички та дообрізування її залишків і викопування коренеплодів.

Список використаних джерел

1. В. Барановський, М. Підгурський, М. Паньків Методологічні та конструктивно-технологічні аспекти розроблення адаптованих коренезбиральних машин. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2014. Том 74. № 2. С. 106-113.

2. Барановський В.М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. 2006. Том 11. № 2. С. 67-75.

3. Волоха М.П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань : монографія. Київ : ТОВ Центр учбової літератури, 2015. 220 с.

УДК 631.362

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОГО ТИПУ

Петренко Д. І., Біліценко І. О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Постановка проблеми. Попри значний асортимент аеродинамічних сепараторів для обробки зернових сумішей, більшості типових конструкцій притаманна спільна проблема – вони не здатні забезпечити нормовані показники якості очищення при збереженні високої продуктивності [3-7]. Ключова причина полягає в низькій адаптивності виконавчих елементів повітряних сепараторів до змін умов процесу, зокрема коливань вологості, засміченості та аеродинамічних властивостей зернової суміші.

Базовий принцип конструювання «ідеального» пневмосепаратора передбачає реалізацію двох умов: стабільного та рівномірного завантаження сировини по всій ширині робочої камери і створення повітряного потоку з рівномірним швидкісним полем, що гарантує ідентичний аеродинамічний вплив на будь-який компонент зерносуміші [2-8].

Практичне втілення окреслених підходів дозволить підвищити якість очищення до максимально ефективного рівня, компенсуючи неоднорідність фізико-механічних властивостей зерносуміші.

Аналіз останніх досліджень. Практичним втіленням концепції «ідеального» сепаратора за критеріями однорідності та ефективності є машина пневмогравітаційного типу [1, 2], де розділення зернової суміші відбувається шляхом суміщення дії інерційно-гравітаційних сил та повітряного потоку.

Огляд наукових праць [3-6], присвячених динаміці зернового потоку в повітряному середовищі, свідчить про те, що фундаментальні закономірності поведінки поодиноких часток під впливом фізичних сил наразі достатньо вивчені. Водночас виникає обґрунтована потреба розширити наявні теоретичні

уявлення, а саме розглядати компоненти суміші не як ізольовані елементи, а як цілісну дискретну систему, що перебуває в постійній міжчастинковій взаємодії та зазнає комплексного впливу аеродинамічного поля.

Мета досліджень. Таким чином, метою роботи є побудова математичної моделі та обґрунтування на її основі раціональних параметрів вертикального пневмогравітаційного каналу зерноочисного сепаратора.

Результати досліджень. Для побудови математичного опису процесу дослідимо закономірності переміщення компонентів зерносуміші у робочому просторі пневмогравітаційного каналу (рис. 1). В реальних умовах сепарації вектор швидкості та траєкторія частки є результатом розв'язку системи сил, що діють на неї одночасно: гравітаційної сили; сили інерції, яка визначається початковими кінематичними параметрами входу частки в канал; сили опору повітряного потоку, що є визначальною для ефективного розділення.

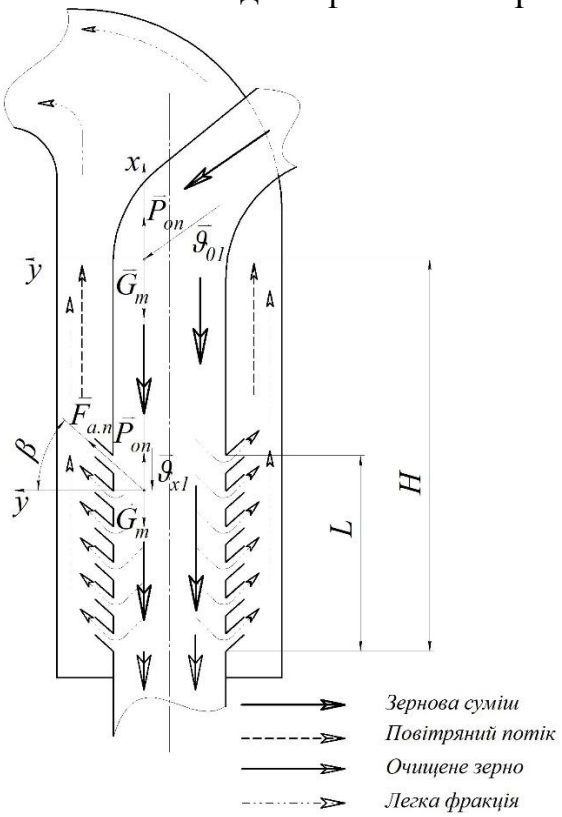


Рис. 1 – Схема сил та кінематична модель переміщення зернового потоку у пневмогравітаційному сепараторі

Опис вільного гравітаційного руху компонентів суміші є початковою умовою для побудови комплексної моделі переміщення в аеродинамічному середовищі, де вектор швидкості змінюється під впливом повітряного потоку [3–6]:

$$P_{on} = m_к k_U V_{a.к}{}^2, \tag{1}$$

де $m_к$ – маса компонента; k_U – коефіцієнт парусності; $V_{a.к}$ – величина абсолютної швидкості компоненту.

На траєкторії падіння зернового матеріалу на ординаті H (зона розташування жалюзійних повітрозабірників довжиною L) у систему вводиться активна аеродинамічна сила $F_{а.л}$, дія якої спрямована під кутом β відносно горизонту і яка є вирішальним силовим фактором, що зумовлює диференціацію траєкторій компонентів зерносуміші відповідно до їхніх аеродинамічних параметрів [3-5, 7, 8]:

$$F_{а.п} = C_{л.о.}\rho_{п.п}\frac{V_{відн}^{\ 2}}{2}S_{МП}, \quad (2)$$

де $C_{л.о.}$ – коефіцієнт аеродинамічного опору, який зумовлюється формою й станом поверхні компонентів зерносуміші; $\rho_{п.п}$ – густина повітряного середовища в робочому об'ємі каналу; $V_{відн}$ – відносна швидкість руху частки щодо повітряного потоку; $S_{МП}$ – площа міделевого перерізу частки.

Відповідні траєкторії x(t) (вертикальне переміщення) і y(t) (горизонтальне переміщення) компонентів зерносуміші матимуть вигляд:

$$y(t) = \frac{I_y}{\theta}\left(t - t_1\right) + \frac{I_y}{\theta^2}\left(e^{-\theta(t-t_1)} - 1\right), \quad (3)$$

$$x(t) = L + \frac{I_x - g}{\theta}\left(t - t_1\right) + \frac{1}{\theta}\left(V_{x1} - \frac{I_x - g}{\theta}\right)\left(1 - e^{-\theta(t-t_1)}\right), \quad (4)$$

де $\theta = p/m$; $I_x = (\xi/m_к)\sin\beta$; $I_y = (\xi/m_к)\cos\beta$;

p – коефіцієнт опірності середовища, який пов'язує параметри часток з властивостями середовища;

$\xi = m_к k_U V_{а.к}^{\ 2}$ – константа, зумовлена сталістю аеродинамічних характеристик компонентів зерносуміші, починаючи з висоти L.

Вирази (3) та (4) задають траєкторії руху складників зерносуміші у параметричній формі. Оскільки експоненціальні складові отриманих систем ускладнюють аналітичне знаходження параметра часу t, для коректної реалізації моделі застосували прийом фіксації числових значень усіх постійних величин та використали алгоритми чисельного моделювання [9] для кожного окремого набору вихідних параметрів.

Висновки. Таким чином, за результатами математичного моделювання було проаналізовано рух компонентів зерносуміші в пневмогравітаційному сепараторі, за результатами якого зроблено наступні висновки.

Збільшення ефективної висоти каналу H покращує попереднє розшарування зерносуміші за швидкістю витання, сприяючи наближенню швидкості часток до критичних значень. Проте нарощувати висоту доцільно лише до моменту досягнення найважчою фракцією 95…99% її термінальної швидкості, подальше ж збільшення H недоцільне через зростання габаритів, вартості та турбулентності потоку, що погіршує сепарацію.

У зоні жалюзійних повітрозабірників легкі домішки активніше взаємодіють із повітряним потоком, суттєвіше відхиляючись горизонтально. Від'ємні кути розкриття жалюзі спричиняють зворотне відхилення часток, збільшуючи габарити каналу та погіршуючи якість очищення. Позитивні кути понад 5° збільшують втрати повноцінного зерна у відходах через наближення його траєкторії до повітрозабірників. Отже, оптимальними є кути, близькі до горизонталі з невеликим позитивним нахилом (0…5°).

Список використаних джерел

1. Пневмогравітаційний сепаратор : пат. 153219 Україна : МПК B07B 4/02 (2006.01), B07B 7/01 (2006.01). № u 202203732 ; заявл. 05.10.2022 ; опубл. 07.06.2023, Бюл. № 23/2023.

2. Мехатронний аналіз роботи пневмогравітаційного сепаратора зернових сумішей / Д. С. Нєдєльський, Д. І. Петренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник: технічні науки». 2025. Вип. 12(43). Ч. I С. 245-252. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.245-252.

3. Степаненко С. П. Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха. 2020. 362 с.

4. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Петренко Дмитро Іванович ; Кіровогр. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2011. - 20 с.

5. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилювання, охолодження) : колект. монографія / Котов Б. І. та ін.; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". Київ; Ніжин : Лисенко М. М. [вид.], 2017. 551 с.

6. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct / S. Kharchenko et al. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, no. 10. P. 4383. DOI: https://doi.org/10.3390/app11104383.

7. Аналіз одношарового руху зернового матеріалу у вертикальному пневмосепараційному каналі / О. В. Нестеренко, О. М. Васильковський, Р. В. Кісільов, В. М. Сало. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник: технічні науки». 2024. Вип. 9(40). Ч. 2. С. 31-40. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.31-40.

8. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasylkovskyi, O.M., Petrenko, D.I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH - Agricultural Engineering. 2017. No.53(3). Pp. 65-70.

9. Алієв Е.Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва : підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 340 с. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9.

УДК 631.3:628.4

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ ТА КОМПАКТУВАННЯ ЗАЛИШКІВ ОПТОВОЛОКНА ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Попов С. В., Канівець О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Відновлення використання сільськогосподарських угідь, що зазнали впливу бойових дій, потребує не лише обстеження територій та видалення вибухонебезпечних предметів, а й усунення різноманітних техногенних залишків. Серед нових видів такого забруднення є фрагменти волоконно-оптичного кабелю, що після застосування безпілотних літальних апаратів залишаються на поверхні ґрунту, у рослинності та частково переміщуються у верхньому шарі ґрунту (надалі – оптоволокно). Оптоволокно може залишатися на поверхні ґрунту, у рослинності та частково переміщуватися у верхньому шарі ґрунту (рис. 1).



Рис. 1. Забруднення сільськогосподарських угідь залишками оптоволокна

Особливістю цього матеріалу є значна довжина окремих фрагментів за малої маси та малих поперечних розмірів. Через це традиційні способи збирання твердих відходів або рослинних решток не обов'язково забезпечуватимуть ефективне вилучення оптоволокна.

Окрему проблему становить подальший механізований обробіток поля. Залишки оптоволокна можуть потрапляти до робочих органів ґрунтообробних машин, намотуватися на вали та інші обертові елементи, що здатне спричиняти порушення технологічного процесу та вимушені зупинки машин. Тому виникає

необхідність попереднього механізованого очищення сільськогосподарських угідь від такого виду забруднення.

Теорія технологічних машин передбачає розроблення та дослідження механізмів, робочих органів і технологічних систем з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу, характеру його взаємодії з робочими органами та заданого технологічного процесу [1]. Конструктивні принципи технологічних машин і підходи до вибору та обґрунтування їх робочих органів можуть бути використані для створення спеціалізованого обладнання для підбирання і переміщення довгомірного гнучкого матеріалу [2]. При цьому ефективність нового технологічного процесу має оцінюватися з урахуванням його продуктивності, якості виконання операції та стабільності роботи обладнання [3].

Отже, формується нова для землеробської механіки практична та науково-інженерна задача – розроблення технологічних і конструктивних рішень для механізованого збирання оптоволокна із сільськогосподарських угідь з подальшим його компактуванням та вилученням із поля. Її вирішення потребує адаптації відомих принципів роботи підбирально-пресувальних машин до специфічних фізико-механічних властивостей оптоволокна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема забруднення природних та сільськогосподарських територій полімерними матеріалами останніми роками набуває особливої актуальності. Одним із напрямів сучасних досліджень є дистанційне виявлення пластикових забруднень. Зокрема, автори [4] дослідили можливість використання оптичних супутникових даних для виявлення скупчень пластику та показали перспективність застосування методів дистанційного зондування для ідентифікації забруднених ділянок. Зазначений підхід може бути корисним і для попереднього встановлення зон концентрації техногенних матеріалів перед проведенням робіт з їх механізованого вилучення.

Окремий вид полімерного забруднення сформувався на територіях, де застосовуються безпілотні літальні апарати з волоконно-оптичним керуванням. За даними [5], такі дрони залишають після використання довгомірні фрагменти оптоволокна. Вони накопичуються на поверхні землі та у рослинності. Автори звертають увагу на потенційний довготривалий вплив такого забруднення на довкілля, зокрема ризик механічного заплутування тварин та поступової деградації полімерної оболонки кабелю. Це свідчить про необхідність не лише фіксації наявності такого забруднення, а й розроблення практичних технологій його вилучення.

Безпосереднє оцінювання масштабів забруднення оптоволокном на територіях України, що зазнали впливу бойових дій, представлено у роботі [6]. Авторкою проведено попередню оцінку кількості оптоволокна на досліджуваній території та встановлено значну протяжність окремих фрагментів і нерівномірність їх розподілу. Важливим результатом є також спостереження щодо накопичення кабелю у вигляді заплутаних структур та його взаємодії з

рослинністю. Такі особливості безпосередньо впливають на вибір принципу роботи майбутнього підбирального пристрою.

Проблему наявності оптоволокна на сільськогосподарських угіддях розглянуто також у публікації [7]. Зазначається, що тонке оптоволокно може залишатися на полях після використання дронів, потрапляти у рослинність і створювати додаткові труднощі під час проведення робіт з розмінування та подальшого відновлення сільськогосподарського використання земель. Це дозволяє розглядати залишки оптоволокна не лише як екологічну проблему, а й як специфічний фізичний забруднювач робочої зони сільськогосподарської техніки.

При розробленні технології очищення необхідно враховувати також взаємодію оптоволокна з рослинним покривом. У дослідженні [8] розглянуто особливості реакції рослинності на умови середовища та показано значення структури рослинного покриву для характеру розподілу матеріалу в природному середовищі. Хоча ця робота безпосередньо не стосується оптоволоконного забруднення, наведені в ній положення мають методичне значення для дослідження умов, за яких довгомірний гнучкий матеріал може затримуватися у рослинності. Отже, під час розроблення підбирального робочого органу доцільно враховувати не лише положення оптоволокна відносно поверхні ґрунту, а й густоту та структуру рослинного покриву.

Екологічні та технологічні аспекти проблеми залишків оптоволокна узагальнено також в аналітичному матеріалі [9]. Автори звертають увагу на необхідність системного підходу до вилучення такого матеріалу з територій, постраждалих від бойових дій, а також на недостатню розробленість питань його подальшого поводження. Це підкреслює доцільність розглядати процес очищення не як окреме ручне збирання фрагментів кабелю, а як технологічний процес, що включає підбирання, транспортування, накопичення та подальше видалення зібраного матеріалу.

Таким чином, аналіз розглянутих джерел [4-9] не виявив обґрунтованих технологічних та математичних моделей механізованого підбирання довгомірних фрагментів оптоволокна із сільськогосподарських угідь. Специфічні властивості цього матеріалу – значна довжина, мала маса, гнучкість, здатність утворювати петлі та заплутуватися у рослинності – потребують адаптації традиційних технологічних засобів. Кількісні фізико-механічні характеристики залишків оптоволокна, необхідні для подальшого проєктування робочого органу (діаметр, маса одиниці довжини, розподіл довжини фрагментів, міцність при розтягу, коефіцієнт тертя у контакті з робочими органами та ґрунтом та ін.), потребують експериментального визначення.

У зв'язку з цим становить науковий і практичний інтерес використання конструктивних принципів прес-підбирачів для створення спеціалізованої машини, яка забезпечуватиме послідовне підбирання, транспортування, очищення, накопичення та компактування оптоволокна. Відсутність у

розглянутих публікаціях обґрунтованої технологічної схеми такого механізованого процесу визначає напрям подальших досліджень.

Мета. Метою роботи є обґрунтування технологічної схеми машини для механізованого збирання та компактування залишків оптоволокна на сільськогосподарських угіддях на основі конструктивних принципів прес-підбирача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) проаналізувати умови та особливості механізованого збирання залишків оптоволокна;

2) сформувати технологічну схему машини;

3) визначити основні конструктивно-технологічні параметри робочих органів;

4) обґрунтувати показники для подальшого експериментального оцінювання.

Обґрунтування технологічної схеми. Загальна конструктивна схема машини може базуватися на самохідному або причіпному шасі. У передній частині розміщується підбирач, аналогічний за принципом роботи підбирачу сіна. Пружинні пальці підбирача здійснюють захоплення оптоволокна з поверхні поля та спрямовують його до транспортера.

Однак для роботи з оптоволокном необхідно передбачити конструктивні елементи, які мінімізують можливість його намотування. З цією метою доцільно використовувати напрямні поверхні, обмежувачі робочої зони та пристрої примусового відведення волокна від обертових валів.

Після підбирання оптоволокно надходить до накопичувальної камери. На відміну від прес-підбирача сіна, де формується рулон або прямокутний тюк, для цього виду матеріалу доцільно розглядати формування компактованої порції заданої маси та геометричних розмірів. Компактування зібраного матеріалу дозволяє зменшити його питомий об'єм, сформувати контрольовану транспортну одиницю та запобігти повторному розповсюдженню фрагментів під час транспортування. Принципова схема агрегату може бути представлена у вигляді: поле → підбирач із системою запобігання намотуванню → різання → транспортування → накопичення → компактування → вивантаження. Введення різального апарата зумовлено необхідністю зменшення довжини безперервних фрагментів кабелю, що може знизити ризик їх намотування на обертові елементи та полегшити подальше компактування. Конструкція різального апарата повинна забезпечувати надійне перерізання натягнутого або підтримуваного фрагмента без утворення вільних петель, здатних спричинити намотування на приводні елементи.

Основні технологічні показники процесу. Для оцінювання ефективності очищення поля доцільно використовувати коефіцієнт повноти підбирання, $\eta_п$:

$$\eta_п = m_м / (m_м + m_з),$$

де $m_м$ – маса оптоволокна, зібраного машинним способом, кг; $m_з$ – маса залишків оптоволокна, що залишилася на контрольній ділянці після проходу агрегату, кг.

Такий підхід не потребує попереднього вимірювання загальної довжини заплутаного оптоволокна. Після проходу машини на контрольній ділянці здійснюється додаткове обстеження та збирається залишковий матеріал, який зважується.

Важливим параметром процесу компактування є середня щільність сформованої порції, ρ, кг/м^3:

$$\rho = m / V,$$

де m – маса компактованої порції, кг; V – об'єм компактованої порції, м^3.

Для попередньої оцінки середнього тиску пресування, p, Па, може бути використана залежність:

$$p = F / A,$$

де F – зусилля пресування, Н; A – площа поверхні пресування, м^2.

При цьому конкретне значення тиску не слід задавати апріорно. Воно має бзначатися залежно від його робочої ширини та швидкості руху:

$$W_t = (B \cdot \upsilon) / 10,$$

де B – робоча ширина підбирача, м; υ – швидкість руху агрегату, км/год.

Фактична продуктивність буде нижчою через час на вивантаження компактованих порцій, технологічні зупинки та необхідність очищення робочих органів. Особливістю запропонованої машини має стати узгодження роботи підбирача, різального апарату, транспортера та пресувального механізму. Надмірне збільшення швидкості руху може призвести до неповного захоплення оптоволокна, тоді як недостатня швидкість зменшуватиме продуктивність агрегату.

Для переходу від площинної до масової продуктивності необхідно враховувати середню поверхневу концентрацію оптоволокна на оброблюваній площі. Продуктивність підбирача за масою, Q_m, кг/год:

$$Q_m = 1000 \cdot \lambda \cdot B \cdot \upsilon \cdot \eta_п,$$

де λ – поверхнева концентрація оптоволокна, кг/м^2; $\eta_п$ – коефіцієнт повноти підбирання.

Перспективним напрямом досліджень є встановлення раціонального співвідношення між швидкістю руху, частотою обертання підбирача, швидкістю транспортування оптоволокна, режимами різання та тривалістю циклу роботи пресувальної камери. Застосування запропонованої технології допускається лише після підтвердження безпечності ділянки уповноваженими службами та завершення передбачених процедур обстеження й очищення території.

Висновки. Обґрунтовано необхідність попереднього механізованого очищення сільськогосподарських угідь від залишків оптоволокна як специфічного довгомірного гнучкого забруднювача, здатного спричиняти намотування на робочі органи та порушення технологічного процесу сільськогосподарських машин. Обґрунтовано доцільність використання послідовності технологічних операцій підбирання із запобіганням намотуванню, різання, транспортування, накопичення, компактування, вивантаження як основи технологічного процесу механізованого очищення сільськогосподарських угідь від залишків волоконно-оптичного кабелю. Науковий інтерес становить визначення параметрів робочого органу підбирача, довжини різання, режимів транспортування та тиску пресування, що забезпечуватимуть достатню повноту очищення поля при мінімальному ризику намотування оптоволокна на елементи машини. Для експериментального оцінювання запропоновано використовувати масу вилученого оптоволокна, масову продуктивність, щільність компактованої порції та коефіцієнт повноти підбирання. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення лабораторного зразка підбирально-різально-пресувального пристрою та експериментальне визначення його технологічних параметрів.

Список використаних джерел

1. Попов С. В., Бучинський М. Я., Гнітько С. М., Чернявський А. М. Теорія механізмів технологічних машин: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 268 с.

2. Гнітько С. М., Бучинський М. Я., Попов С. В., Чернявський Ю. А. Технологічні машини: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 258 с.

3. Фролов Є. А., Кравченко С. І., Попов С. В., Гнітько С. М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.

4. Biermann L., Clewley D., Martinez-Vicente V., Topouzelis K. Finding plastic patches in coastal waters using optical satellite data. Scientific Reports. 2020. Vol. 10, No. 1. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-62298-z.

5. Plastic pollution from fibre optic drones may threaten wildlife for years. CEOBS. URL: https://ceobs.org/plastic-pollution-from-fibre-optic-drones-may-threaten-wildlife-for-years/ (дата звернення: 26.09.2026).

6. Tesolkina T. Preliminary assessment of fiber-optic debris from drones in war-affected landscapes of Ukraine. Sustainable Development – State and Prospects: V International Scientific Symposium, 21–24 January 2026, Lviv-Slavske, Ukraine: proceedings. Lviv: Kamula, 2026. P. 301–303.

7. Shtopenko A. Glass cobwebs in the fields: why fibre optics could become a problem for demining Ukraine. Ukrainska Pravda. 2026. 10 May. URL: https://www.pravda.com.ua/eng/articles/2026/05/10/8034095/ (дата звернення: 26.09.2026).

8. Porté A. J., Lamarque L. J., Lortie C. J., Michalet R., Delzon S. Invasive Acer negundo outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity. BMC Ecology. 2011. Vol. 11. Article 28. DOI: https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-28.

9. Tangled battlefields: Addressing the environmental concerns of fiber-optic drones in Ukraine. North Atlantic Policy Forum. URL: https://www.napforum.org/policy-briefs/tangledbattlefields-addressing-the-environmental-concerns-of-fiber-optic-drones-in-ukraine (дата звернення: 26.09.2026).

УДК 631.331

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТОВЩИНИ ШАРУ ПРЕПАРАТИВНОЇ КОМПОЗИЦІЇ НА ПОВЕРХНІ НАСІНИНИ

Ратушний В. В., Вітрух П. І., Косовець Ю. В.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН,
Онищенко В. Б.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Передпосівне оброблення насіння є важливою складовою технології вирощування сільськогосподарських культур, а ефективність захисно-стимулювально-живильних препаратів значною мірою залежить від рівномірності їх розподілу по поверхні насінини. Перспективним напрямом удосконалення цього процесу є пошарове нанесення, за якого на насінині формується суцільний шар препаративної композиції. Для інженерного проєктування такого процесу необхідно встановити кількісний зв’язок між геометричними характеристиками насіння, властивостями препарату, нормою його нанесення та товщиною покриття.

Актуальність визначення товщини шару пов’язана з тим, що реальна поверхня насінини не є сферичною: вона може мати видовженість, борозенки та нерівності. Використання лише геометрично спрощеної моделі без урахування цих особливостей може призводити до похибок під час визначення необхідної кількості препарату. Тому в роботі запропоновано використовувати еквівалентний діаметр насінини та коефіцієнт форми її поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що технологія пошарового нанесення препаратів у ротаційних протруювачах періодичної дії має значний потенціал для розвитку та промислового впровадження [1–4]. Серед основних напрямів удосконалення – підвищення точності дозування більш ефективних і екологічних препаратів, покращення рівномірності розподілу препаратів і зниження їх витрат.

Мета досліджень. Теоретично обґрунтувати параметри формування шару препаративної композиції на поверхні насінини з урахуванням її геометричних та фізико-механічних характеристик, а також отримати аналітичну залежність для прогнозування товщини покриття.

Методи досліджень. Використано аналітичний метод, математичне моделювання та числову реалізацію отриманих залежностей у табличному процесорі Microsoft Excel. Насінину представлено еквівалентною сферою, об'єм якої дорівнює об'єму реальної насінини. Такий підхід дає змогу перейти від складної реальної геометрії до параметрів, зручних для інженерного розрахунку.

Результати досліджень. Площу поверхні еквівалентної сфери визначають через еквівалентний діаметр насінини:

$$\boldsymbol{S_e = \pi d_e^2}, \quad (1)$$

де $\boldsymbol{S_e}$ – площа поверхні еквівалентної сфери, м²;

$\boldsymbol{d_e}$ – еквівалентний діаметр насінини, м.

Оскільки реальна площа поверхні відрізняється від площі еквівалентної сфери, введено коефіцієнт форми поверхні:

$$\boldsymbol{k_f = \frac{S_r}{S_e}}, \quad (2)$$

де $\boldsymbol{k_f}$ – коефіцієнт форми поверхні;

$\boldsymbol{S_r}$ – реальна площа поверхні насінини, м².

Тоді реальна площа поверхні насінини визначається залежністю:

$$\boldsymbol{S_r = k_f \pi d_e^2}. \quad (3)$$

Фізичний зміст коефіцієнта форми полягає в оцінці ступеня відхилення форми насінини від сферичної. Для будь-якої насінини виконується умова $\boldsymbol{k_f \geq 1}$, а для більшості сільськогосподарських культур його розрахункове значення перебуває в межах $\boldsymbol{k_f = 1,05 \div 1,80}$.

Кількість препарату, що припадає на одну насінину, пов'язана з нормою його нанесення $\boldsymbol{q_p}$ та масою насінини $\boldsymbol{m_s}$. За відомої густини препаративної композиції $\boldsymbol{\rho_p}$ її маса переводиться в об'єм, а об'єм суцільного шару може бути поданий як добуток площі поверхні насінини на середню товщину покриття. Саме це дає змогу отримати розрахункову залежність для товщини шару $\boldsymbol{\delta}$:

$$\boldsymbol{\delta = \frac{q_p\ m_s}{1000\ \rho_p\ k_f \pi d_e^2}}. \quad (4)$$

Отримана залежність показує, що товщина покриття зростає зі збільшенням кількості нанесеного препарату та зменшується зі збільшенням площі поверхні, на яку цей препарат розподіляється.

Для практичних інженерних розрахунків доцільно використовувати масу 1000 насінин $\mathbf{m_{1000}}$ як стандартизовану характеристику насіннєвого матеріалу. Після підстановки відповідних залежностей остаточний вираз для визначення товщини препаративного шару має вигляд:

$$\boldsymbol{\delta = \frac{q_p\ m_{1000}}{10^6 \rho_p\ k_f \pi d_e^2}}. \qquad (5)$$

Рівняння (5) встановлює безпосередній зв'язок між товщиною покриття, нормою нанесення препарату, масою насіння, його еквівалентним діаметром, коефіцієнтом форми поверхні та густиною препаративної композиції.

Графічна інтерпретація отриманої залежності показує, що зі збільшенням еквівалентного діаметра насінини товщина шару зменшується. За однакової норми нанесення дрібніше насіння має більшу товщину покриття, оскільки одна й та сама маса препарату розподіляється по меншій площі поверхні.

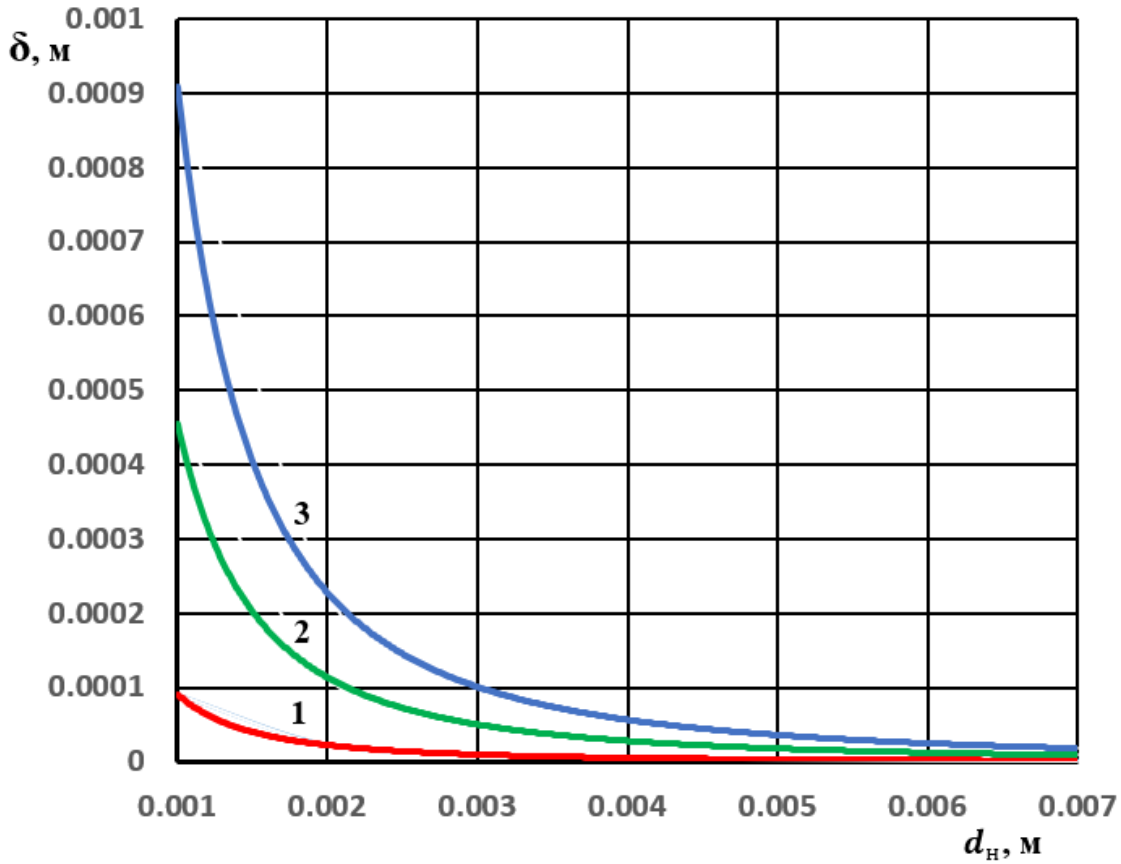


Рис. 1. Залежність товщини шару препаративної композиції на поверхні насінини від її еквівалентного діаметра: 1, 2, 3 — норма нанесення препарату 10; 50; 100 кг/т насіння, відповідно.

Висновки. Розроблена математична модель дає змогу прогнозувати товщину препаративного шару з урахуванням геометричних характеристик насіння та властивостей препаративної композиції. Врахування коефіцієнта

форми поверхні підвищує обґрунтованість інженерних розрахунків і створює основу для вибору раціональної норми нанесення препарату.

Список використаних джерел

1. MultiCoater// Products Coating. URL: https:// www.petkus.com/products/-/info/coating/multicoater-cm-100/multicoater-cm-100 (дата звернення: 17.09.2026).

2. Centricoater Automatic // Product Overview. URL: https:// www.cimbria.com/en/products/processing/centricoater.html (дата звернення: 17.09.2026).

3. Ратушний В.В., Вітрух П.І., Косовець Ю.В. Експериментальні дослідження якості пошарової обробки насіння сільськогосподарських культур. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. – Глеваха, 2024. – Вип. 4 (118). – С. 72-77.

4. Ратушний В.В., Вітрух П.І., Косовець Ю.В. Експериментальні дослідження дозувальної системи рідких препаратів протруювача для пошарового оброблення насіння. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. – Глеваха, 2024. – Вип. 5 (119). – С. 51 – 60.

УДК 631.331

ВПЛИВ НОРМИ НАНЕСЕННЯ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО ДІАМЕТРА НА ТОВЩИНУ ПОКРИТТЯ НАСІННЯ

Ратушний В. В., Вітрух П. І., Косовець Ю. В.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН,
Онищенко В. Б.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Одним із ключових параметрів пошарового оброблення насіння є товщина шару препаративної композиції. Вона повинна бути достатньою для формування суцільного покриття, але її збільшення без технологічної необхідності призводить до підвищення витрати препарату. Важливо враховувати, що однакова масова норма нанесення на насіння різного розміру формує неоднакову товщину шару.

Аналіз теоретичних залежностей показує, що на товщину покриття одночасно впливають норма нанесення препарату, еквівалентний діаметр насінини, коефіцієнт форми поверхні та густина препаративної композиції. Для технологічного проєктування особливо важливим є встановлення кількісного характеру впливу перших двох факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що технологія пошарового нанесення препаратів у ротаційних протруювачах періодичної дії має значний потенціал для розвитку та

промислового впровадження [1–4]. Серед основних напрямів удосконалення – підвищення точності дозування більш ефективних і екологічних препаратів, покращення рівномірності розподілу препаратів і зниження їх витрат.

Мета досліджень. Визначити характер впливу норми нанесення препаративної композиції та еквівалентного діаметра насінини на товщину сформованого шару і визначити технологічні наслідки встановлених закономірностей.

Методи досліджень**.** Розрахунки виконано за аналітичною залежністю товщини шару, отриманою на основі законів збереження маси й об'єму. Для аналізу впливу факторів використано числову реалізацію залежності та побудову графіків.

Результати досліджень. Основною розрахунковою залежністю для аналізу товщини покриття $\boldsymbol{\delta}$ є отримане нами рівняння:

$$\boldsymbol{\delta = \frac{q_p\ m_{1000}}{10^6 \rho_p\ k_f \pi d_e^2}.}$$

У рівнянні враховано норму нанесення препарату $\boldsymbol{q_p}$, масу 1000 насінин $\boldsymbol{m_{1000}}$, густину препаративної композиції $\boldsymbol{\rho_p}$, коефіцієнт форми поверхні $\boldsymbol{k_f}$ та еквівалентний діаметр насінини $\boldsymbol{d_e}$. Залежність має принципово різний характер щодо норми нанесення та розміру насіння: збільшення норми препарату приводить до збільшення товщини шару, тоді як збільшення еквівалентного діаметра спричиняє її зменшення.

За отриманими розрахунками зі збільшенням норми нанесення від 10 до 100 кг/т товщина шару для дрібного насіння зростає приблизно від 0,00009 до 0,0009 м. Отже, за інших однакових умов збільшення норми в десять разів супроводжується приблизно десятикратним збільшенням товщини шару.

Водночас збільшення еквівалентного діаметра насінини від 0,001 до 0,005 м за норми нанесення 10 кг/т насіння спричиняє зменшення товщини шару приблизно у 20–25 разів — від 0,000090 до 0,0000040 м. Це свідчить про суттєвий вплив геометричного розміру насіння на результат пошарового нанесення.

Таким чином, використання єдиної норми нанесення для культур із суттєво різним розміром насіння не забезпечує однакової товщини покриття. Для інженерного вибору режимів необхідно враховувати еквівалентний діаметр насінини.

Для насіння з еквівалентним діаметром 0,005; 0,010 і 0,015 м за підвищення норми препарату від 20 до 260 кг/т товщина шару збільшується відповідно приблизно від 0,000060 до 0,000750 м. Найтовстіший шар формується на дрібному насінні за високих норм нанесення.

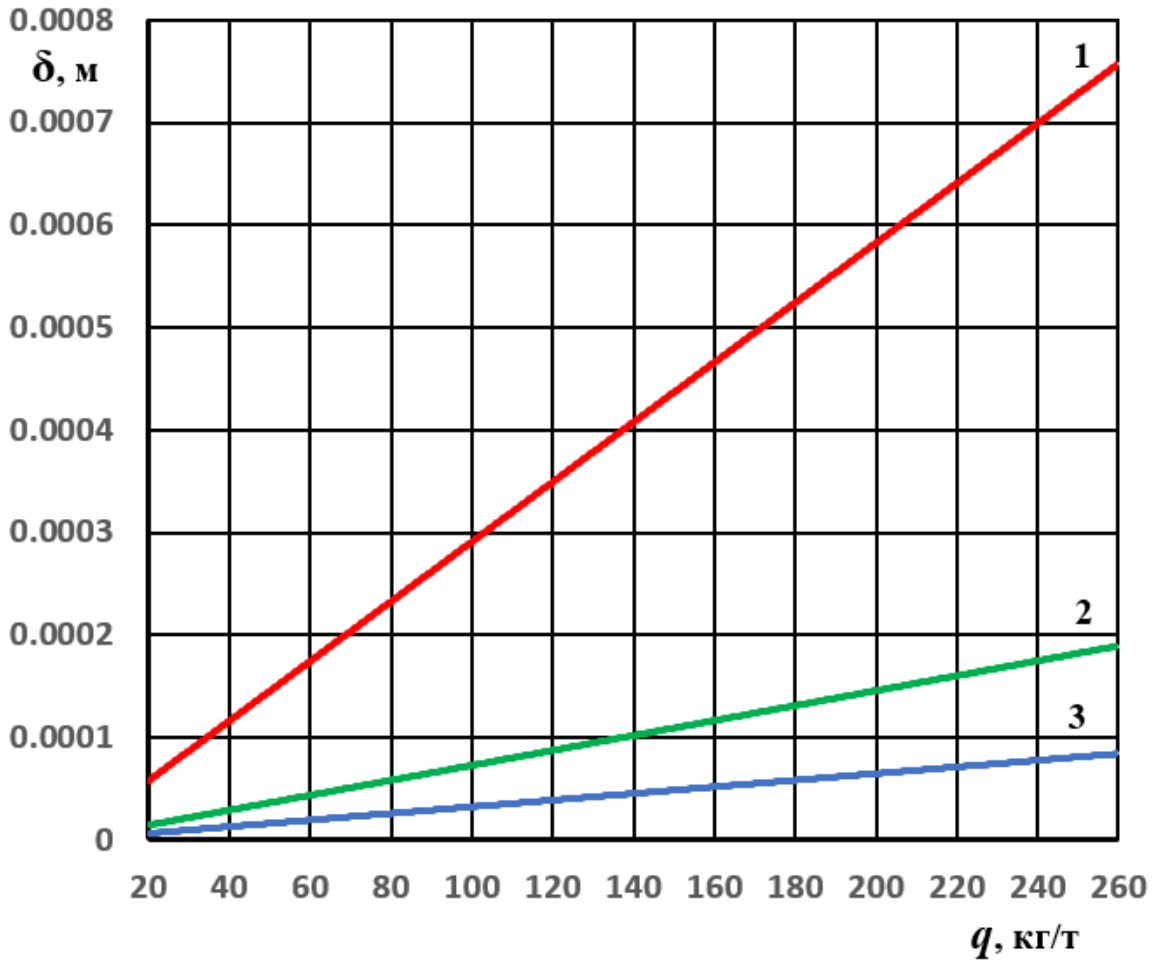


Рис. Залежність товщини шару препаративної композиції на поверхні насінини від норми нанесення препарату:
1, 2, 3 – еквівалентний діаметр насінини 0,005, 0,01, 0,015 м, відповідно

Висновки. Норма нанесення та еквівалентний діаметр насінини є визначальними факторами товщини препаративного шару. Збільшення норми нанесення підвищує товщину покриття, тоді як збільшення розміру насіння її зменшує. Для великонасінних культур доцільно розглядати багатошарове нанесення як засіб формування необхідної товщини покриття без надмірного збільшення разової норми препарату.

Список використаних джерел

1. MultiCoater// Products Coating. URL: https:// www.petkus.com/products/-/info/coating/multicoater-cm-100/multicoater-cm-100 (дата звернення: 17.09.2026).

2. Centricoater Automatic // Product Overview. URL: https:// www.cimbria.com/en/products/processing/centricoater.html (дата звернення: 17.09.2026).

3. Ратушний В.В., Вітрух П.І., Косовець Ю.В. Експериментальні дослідження якості пошарової обробки насіння сільськогосподарських культур. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. – Глеваха, 2024. – Вип. 4 (118). – С. 72-77.

4. Ратушний В.В., Вітрух П.І., Косовець Ю.В. Експериментальні дослідження дозувальної системи рідких препаратів протруювача для пошарового оброблення насіння. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. – Глеваха, 2024. – Вип. 5 (119). – С. 51 – 60.

УДК 631.358:633.9:620.925

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Рожко І. І., Кулик М. І.
Полтавський державний аграрний університет

Розширення використання багаторічних лігноцелюлозних культур, як сировини для виробництва біомаси та отримання енергії посилює вимоги до технологічної надійності та ресурсоефективності їх механізованого збирання.

Міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*) і просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.) здатні формувати значні обсяги стеблової біомаси. Однак наявність урожаю ще не гарантує ефективності заготівлі рослинної біомаси. Вибір технологічної схеми та комплексу машин має враховувати вологість і фізичний стан біомаси, обсяг врожаю, необхідну форму кінцевого продукту та подальші транспортно-логістичні операції. Саме на етапі збирання поєднуються агротехнологічні й інженерні чинники, що визначають продуктивність машин, енерговитрати на збирання та втрати біомаси.

Питання механізованого збирання цих культур широко представлене у науковій літературі, проте окремі роботи зосереджені на різних складових процесу. Для міскантусу N. Bilandžija із співавторами [1] систематизували одно- та багатофазні схеми збирання; S. K. Mathanker та A. C. Hansen [2] дослідили продуктивність і паливну економічність машин; Gan H. із співавторами [3] – вивчали вплив різальних елементів на енерговитрати; P. G Meehan. із співавторами [4] – обґрунтували вплив строку та способу збирання на втрати біомаси. Для проса прутоподібного значну увагу приділено польовому підсушуванню фітомаси, її пресуванню, зменшенню втрат сухої речовини та логістиці [5–7]. Сучасний огляд механізованого збирання багаторічних енергетичних культур підтверджує можливість використання наявної кормо- і сінозаготівельної техніки для обох культур за умови її відповідного технологічного налаштування [8].

Мета дослідження – узагальнити та порівняти технологічні підходи до механізованого збирання міскантусу гігантського та проса прутоподібного з урахуванням застосовуваних технічних засобів, продуктивності технологічних операцій і втрат біомаси.

Аналіз опрацьованих літературних джерел свідчить, що для обох культур немає єдиної універсальної схеми збирання. Її вибір пов'язаний не лише з конструкцією збиральних машин, а й з тим, у якому вигляді біомаса має надходити до наступної ланки технологічного ланцюга – подрібненою або спресованою.

Для міскантусу застосовують одно- та багатофазні технологічні схеми [1]. В однофазному варіанті зрізування і подрібнення стеблової маси виконуються за один прохід із безпосереднім завантаженням біомаси у транспортний засіб. Багатофазна схема передбачає скошування або скошування з плющенням, формування валка та подальше пресування. На практиці це означає різну кількість проходів техніки полем, різну форму одержаної біомаси та, відповідно, різні вимоги до її транспортування і зберігання.

За даними S. K. Mathanker та A. C. Hansen [2], під час заготівлі міскантусу продуктивність дискової косарки-плющилки становила близько 1,8 га/год, великого прямокутного прес-підбирача – 1,4 га/год, а витрата дизельного пального – відповідно 19,2 і 19,7 л/га. Встановлений авторами зв'язок між урожайністю, витратами пального та вартістю заготівлі біомаси свідчить, що роботу комплексу машин варто оцінювати не лише за продуктивністю на гектар, а й за масою врожаю.

Для міскантусу важливою є також відповідність робочих органів властивостям стеблової маси. H. Gan із співавторами [3] встановили, що зубчасті різальні елементи косарки-плющилки зменшували енерговитрати машини на 24,7 % порівняно з прямими ножами, а розрахункова польова продуктивність зростала з 1,35 до 2,23 га/год. Це наочно показує технологічне значення адаптації різального апарата. Водночас P. G. Meehan із співавторами [4] показали залежність втрат біомаси від строку та способу її збирання.

Для проса прутоподібного типовою є послідовність операцій, близька до сінозаготівлі: скошування, польове підсушування, формування валка та пресування [7]. Особливої ваги набуває вологість рослинного матеріалу перед пресуванням. Так, M. A. Sanderson із співавторами [5] встановили, що втрати сухої речовини під час пресування становили 1–5 % і зростали за нижчої вологості біомаси. Отже, тривалість польового підсушування потрібно узгоджувати з моментом підбирання та пресування.

Поряд із тюкуванням, можливе також збирання трав'янистої біомаси у подрібненому вигляді. D. K Brownell. із співавторами [6] порівнювали систему на базі кормозбирального комбайна з окремими транспортними засобами та систему із самозавантажувальним подрібнювальним причепом. Результати науковців показують, що продуктивність збиральної ланки не можна відокремлювати від транспортної. На роботу системи впливають відстань перевезення, вологість матеріалу та організація взаємодії машин. Системний підхід до збирання, зберігання і транспортування проса прутоподібного обґрунтовано також S. Sokhansanj із співавторами [7].

Таким чином, спільною рисою технологій збирання міскантусу гігантського та проса прутоподібного є можливість використання серійної

кормо- та сінозаготівельної техніки. Відмінність полягає в акцентах її технологічного налаштування: для міскантусу особливо важливими є спосіб збирання та робота різального апарата зі стебловою масою, тоді як для проса прутоподібного – керування вологістю під час польового підсушування, формування валка і пресування. В обох випадках збиральну операцію доцільно розглядати не ізольовано, а як частину єдиного ланцюга «поле – транспорт – зберігання».

Висновки. Проведений аналіз показав, що механізоване збирання міскантусу гігантського та проса прутоподібного може базуватися на серійній кормо- та сінозаготівельній техніці, проте ефективність її застосування визначається відповідністю технологічної схеми властивостям і стану біомаси. Для міскантусу визначальними є вибір одно- або багатофазної схеми збирання, обсяг врожаю, та параметри різального апарата. Для проса прутоподібного – підсушування біомаси у польових умовах, формування валка, пресування та вологість рослинного матеріалу.

Перспективним напрямом досліджень є подальша адаптація робочих органів машин і узгодження польових операцій із транспортною та складською логістикою, оскільки саме їх взаємодія визначає результативність технологічного процесу в цілому.

Список використаних джерел

1. Bilandžija N., Fabijanić G., Sito S., Grubor M., Krononc Z., Čopec K., Kovačec I. Harvest Systems of Miscanthus × giganteus Biomass: A Review. Journal of Central European Agriculture. 2020. Vol. 21, №. 1. PP. 159–167. DOI: 10.5513/JCEA01/21.1.2511.

2. Mathanker S. K., Hansen A. C. Impact of Miscanthus Yield on Harvesting Cost and Fuel Consumption. Biomass and Bioenergy. 2015. Vol. 81. PP. 162–166. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.06.024.

3. Gan H., Mathanker S., Momin M. A., Kuhns B., Stoffel N., Hansen A., Grift T. Effects of Three Cutting Blade Designs on Energy Consumption during Mowing-Conditioning of Miscanthus Giganteus. Biomass and Bioenergy. 2018. Vol. 109. PP. 166–171. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.12.033.

4. Meehan P. G., McDonnell K. P., Finnan J. M. An Assessment of the Effect of Harvest Time and Harvest Method on Biomass Loss for Miscanthus × giganteus. *GCB Bioenergy*. 2013. Vol. 5. PP. 400–407. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2012.01205.x.

5. Sanderson M. A., Egg R. P., Wiselogel A. E. Biomass Losses during Harvest and Storage of Switchgrass. *Biomass and Bioenergy*. 1997. Vol. 12, №. 2. PP. 107–114. DOI: 10.1016/S0961-9534(96)00068-2.

6. Brownell D. K., Liu J., Hilton J. W., Richard T. L., Cauffman G. R., MacAfee B. R. Evaluation of Two Forage Harvesting Systems for Herbaceous Biomass Harvesting. *Transactions of the ASABE*. 2012. Vol. 55, № 5. PP. 1651–1658. DOI: 10.13031/2013.42348.

7. Sokhansanj S., Mani S., Turhollow A., Kumar A., Bransby D., Lynd L., Laser M. Large-Scale Production, Harvest and Logistics of Switchgrass (Panicum virgatum

L.): Current Technology and Envisioning a Mature Technology. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2009. Vol. 3. PP. 124–141. DOI: 10.1002/bbb.129.

8. Stefanoni W., Latterini F., Pari L. Perennial Grass Species for Bioenergy Production: The State of the Art in Mechanical Harvesting. *Energies*. 2023. Vol. 16, № 5. Art. 2303. DOI: 10.3390/en16052303.

УДК 631.331.5:620.178.16

МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ ДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

Борак К.В., Руденко В.Г., Мельник О.П.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Дискові сошники зернових сівалок належать до робочих органів, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтовим середовищем та значною мірою визначають якість виконання технологічного процесу сівби. У процесі роботи вони здійснюють розрізання поверхневого шару ґрунту та рослинних решток, формують борозну і забезпечують умови для укладання насіння на задану глибину. Тривала взаємодія поверхні диска з ґрунтом призводить до поступової втрати його маси, зменшення зовнішнього діаметра й товщини, зміни геометрії різальної кромки, що в кінцевому підсумку негативно впливає на якість формування посівної борозни [1]. Експериментальні дослідження дискових сошників підтверджують, що в процесі експлуатації відбувається закономірне зменшення їхніх геометричних параметрів унаслідок абразивної дії ґрунту [1].

Ґрунт як абразивне середовище є складною багатокомпонентною системою, яка містить мінеральні частинки різного розміру, форми та твердості, органічну речовину, вологу та рослинні рештки. Найбільш інтенсивний вплив на металеву поверхню чинять тверді мінеральні частинки, зокрема кварц та інші кремнеземовмісні компоненти. Якщо їхня твердість перевищує твердість матеріалу робочого органа, під час контакту виникає пластичне деформування поверхневих шарів металу, їх мікрорізання та подальше відокремлення частинок матеріалу [2, 3]. Форма абразивних частинок також суттєво впливає на характер руйнування поверхні: частинки з гострими гранями сприяють мікрорізанню, тоді як більш округлі частинки переважно викликають багаторазове пластичне деформування та мікроорання поверхні [4].

На відміну від нерухомих ґрунтообробних робочих органів, дисковий сошник у процесі переміщення сівалки здійснює обертальний рух. У зоні контакту диска з ґрунтом одночасно відбуваються кочення, ковзання і переміщення частинок ґрунту відносно його поверхні. Тому процес зношування дискового сошника доцільно розглядати як результат комплексної механічної взаємодії системи «ґрунтова частинка – поверхня диска – навантаження». Інтенсивність цієї взаємодії залежить від гранулометричного складу та вологості

ґрунту, його щільності, швидкості руху агрегату, глибини ходу сошника, геометрії диска, механічних властивостей його матеріалу та стану різальної кромки [2, 5]. Сучасні дослідження ґрунтоконтактних деталей показують, що основними формами їх пошкодження є абразивне, втомне та корозійно-механічне зношування [3].

Основним механізмом зношування дискових сошників є абразивне зношування. Під дією нормального навантаження тверді частинки ґрунту проникають у поверхневий шар металу. Під час відносного переміщення вони утворюють подряпини та борозни, витісняють метал у бокові валики або зрізають його у вигляді дрібної стружки. Таким чином, поверхня диска поступово втрачає матеріал. Найбільш інтенсивно цей процес відбувається в периферійній зоні диска, яка першою контактує з ґрунтом та сприймає значні контактні навантаження. Абразивний вплив призводить до поступового зменшення зовнішнього діаметра диска, зміни профілю його різальної кромки та зменшення товщини в периферійній зоні [1, 3].

На початковому етапі взаємодії частинки ґрунту з поверхнею сошника виникає локальна пружнопластична деформація металу. За умови достатньої твердості та гостроти абразивної частинки вона проникає у поверхню. Подальше відносне переміщення формує мікроборозну. Частина металу при цьому витісняється по краях борозни, а частина відокремлюється від поверхні. Багаторазове проходження абразивних частинок по одних і тих самих ділянках призводить до накопичення пластичних деформацій, утворення поверхневих та підповерхневих мікротріщин і відокремлення частинок металу.

Важливим фактором, що визначає інтенсивність абразивного зношування, є форма ґрунтових частинок. Дослідження показують, що зі збільшенням гостроти та нерівномірності форми абразиву його руйнівна дія на поверхню ґрунтоконтактних робочих органів зростає [4]. Частинки з гострими вершинами концентрують навантаження на невеликій площі контакту, внаслідок чого контактні напруження можуть перевищувати границю текучості матеріалу диска. У результаті інтенсифікуються процеси мікрорізання та утворення борозен зношування.

Поряд з абразивним для дискових сошників характерне ударно-абразивне зношування. Воно проявляється під час зіткнення різальної кромки з твердими грудками ґрунту, камінням та іншими включеннями. Короткочасні динамічні навантаження спричиняють локальне пластичне деформування, наклеп поверхні, виникнення мікротріщин та викришування матеріалу. Особливо небезпечним є багаторазове циклічне навантаження одних і тих самих ділянок різальної частини, яке сприяє розвитку поверхневої втоми. У ґрунтах із значною кількістю кам’янистих включень саме ударно-абразивна складова може суттєво прискорювати руйнування різальної кромки [3, 6]. Сучасні трибологічні дослідження вказують, що для піщаних ґрунтів характерне переважання мікрорізання, для зв’язних глинистих ґрунтів зростає роль адгезійної взаємодії, а в кам’янистих умовах істотного значення набувають ударні пошкодження [3].

Окремою складовою механізму є втомне зношування. Під час обертання диска кожна ділянка його периферії періодично входить у контакт із ґрунтом і виходить із нього. Циклічна зміна контактних навантажень спричиняє накопичення пошкоджень у поверхневих і підповерхневих шарах. Після певної кількості циклів можуть утворюватися мікротріщини, які поступово розвиваються та призводять до викришування невеликих фрагментів металу. Особливо інтенсивно цей процес проявляється за одночасної дії абразивного середовища та ударних навантажень [3].

На механізм зношування значно впливає вологість ґрунту. За певного вмісту вологи між ґрунтом та металом змінюються сили тертя, зчеплення і характер переміщення абразивних частинок. У зв'язних вологих ґрунтах на поверхні диска може утворюватися шар налиплого ґрунту, в якому утримуються тверді мінеральні частинки. Такий шар здатний змінювати умови контакту і перерозподіляти навантаження на поверхні диска. Крім того, волога створює умови для перебігу електрохімічних процесів, тому механічне зношування може поєднуватися з корозійним руйнуванням [3, 5].

При корозійно-абразивному механізмі на поверхні сталі спочатку утворюються продукти корозії або тонкі оксидні плівки. Під час наступного контакту з абразивними частинками ці менш міцні поверхневі шари руйнуються та видаляються. Оголена металева поверхня знову вступає в контакт із вологою та хімічно активними компонентами ґрунту. Таким чином формується циклічний процес «окиснення – механічне видалення плівки – повторне окиснення», який може збільшувати загальну швидкість втрати матеріалу [5]. Дослідження ґрунтоконтактних робочих органів підтверджують, що попереднє корозійне пошкодження здатне змінювати інтенсивність їх подальшого абразивного зношування [5].

Певний вплив на процес має також наявність рослинних решток у зоні роботи сошника. Під час прямої сівби або роботи по стерньовому фону диски одночасно взаємодіють із ґрунтом і рослинним матеріалом. Рослинні рештки можуть змінювати коефіцієнт тертя, умови переміщення абразивних частинок та фізико-хімічні властивості середовища. Для ґрунтоконтактних робочих органів експериментально встановлено, що продукти руйнування рослинного матеріалу можуть впливати на інтенсивність абразивного зношування [7].

Таким чином, механізм зношування дискових сошників зернових сівалок можна представити у вигляді послідовності взаємопов'язаних процесів: контакт поверхні диска з ґрунтовими частинками → локальна пластична деформація → мікрорізання та мікроорання → утворення поверхневих дефектів і мікротріщин → відокремлення частинок металу → зміна геометрії різальної кромки → перерозподіл контактних навантажень → подальше прискорення зношування.

Поступова зміна геометрії диска має не тільки трибологічні, а й технологічні наслідки. Зменшення зовнішнього діаметра та зміна форми різальної кромки погіршують здатність сошника проникати у ґрунт, розрізати рослинні рештки і підтримувати задану глибину ходу. Для дводискових сошників додатково змінюється взаємне положення дисків та параметри

сформованої борозни. Саме тому оцінювання технічного стану сошника повинно ґрунтуватися не лише на втраті його маси, а насамперед на зміні геометричних параметрів робочої поверхні [1].

Отже, домінуючим видом зношування дискових сошників зернових сівалок є абразивне зношування, основу якого становлять процеси мікрорізання, мікроорання та багаторазового пластичного деформування поверхні. Одночасно залежно від умов експлуатації реалізуються ударно-абразивний, втомний та корозійно-механічний механізми. Співвідношення між ними визначається фізико-механічними властивостями ґрунту, розміром і формою абразивних частинок, вологістю, наявністю рослинних решток, швидкістю руху агрегату, навантаженням і властивостями матеріалу диска. Встановлення закономірностей перебігу цих процесів є основою для обґрунтованого вибору матеріалів, способів поверхневого зміцнення та конструктивних параметрів дискових сошників з метою підвищення їх довговічності.

Список використаних джерел

1. Rosu B., Voicu G., Constantin G.-A., Tudor P., Stefan E.-M. Aspects Regarding the Physical Parameters and Wear in the Work Process of the Disc Openers for Seeding Machines. Agriculture. 2024. Vol. 14, No. 7. Art. 1066. DOI: 10.3390/agriculture14071066.

2. Sharifi Malvajerdi A. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

3. Chu P., Zhang H., Ding Z., Fang M., Su Z., Tang Z. Research Progress on Wear Mechanisms and Surface Engineering of Agricultural Soil Contact Components for Tillage and Seeding. Lubricants. 2026. Vol. 14, No. 8. Art. 293. DOI: 10.3390/lubricants14080293.

4. Борак К. В. Уплив коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2020. № 1. С. 46–56. DOI: 10.31649/2307-5376-2020-1-46-56.

5. Борак К. В., Куликівський В. Л., Руднік Д. І. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2023. № 2. С. 34–43. DOI: 10.31649/2307-5376-2023-2-34-43.

6. Richardson R. C. D. The wear of metallic materials by soil – Practical phenomena. Journal of Agricultural Engineering Research. 1967. Vol. 12, No. 1. P. 22–39. DOI: 10.1016/S0021-8634(67)80032-5.

7. Борак К. В. Вплив рослинних решток на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3 (34). С. 96–101. DOI: 10.32515/2664-262X.2020.3(34).96-101.

УДК 631.333:62-82

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗКИДАЧА ДОБРИВ ЗА РАХУНОК ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Руткевич В.С., Кажуро М.П.
Вінницький національний аграрний університет

Ефективність технологій удобрення визначається точністю дозування та рівномірністю розподілу добрив по площі поля. Особливу складність становить внесення органічних і органо-мінеральних матеріалів, фізико-механічні властивості яких змінюються залежно від вологості, гранулометричного складу, щільності та структурного стану [1]. За таких умов механічні приводи не завжди забезпечують необхідну гнучкість регулювання робочих параметрів.

Перспективним напрямом удосконалення кузовних розкидачів є застосування гідравлічного приводу робочих органів, що забезпечує незалежне регулювання частоти обертання роторів, швидкості подачі матеріалу та параметрів дозування [2]. Це створює можливість адаптації режимів роботи машини до властивостей добрив і заданої норми внесення.

На кафедрі машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету проводяться дослідження з удосконалення розкидача органо-мінеральних добрив із гідравлічним приводом робочих органів. Дослідження спрямовані на стабілізацію подачі матеріалу, регулювання параметрів роторного розподілу та забезпечення необхідної ширини захвату.

Метою роботи є підвищення технологічної ефективності розкидача органо-мінеральних добрив шляхом удосконалення робочих органів і застосування гідравлічного приводу з регульованими режимами роботи.

Конструктивно-технологічну схему розробленого розкидача органо-мінеральних добрив наведено на рис. 1.

Конструктивне виконання розкидача органо-мінеральних добрив передбачає функціональне поєднання несучої, транспортуючої, дозувальної та розкидальної систем. Основою машини є прямокутна рама 1, встановлена на двовісному ходовому шасі 2, на якій змонтовано кузов 3 та основні робочі механізми. Кузов призначений для накопичення і подачі органо-мінеральної суміші до розкидального пристрою. Усередині кузова розміщено скребковий транспортер 4 із приводом від гідродвигуна 5, що забезпечує регулювання інтенсивності подачі матеріалу.

У задній частині кузова встановлено два вертикальні роторні робочі органи 6, кожний з яких має індивідуальний привод від гідродвигуна 7. Робочі поверхні роторів оснащені лопатями, які забезпечують захоплення, прискорення та викидання частинок добрив за межі кузова. Для коригування напрямку переміщення частинок у нижній частині роторних кожухів передбачено

регульовані напрямні лопатки 12, положення яких впливає на траєкторію польоту та ширину поперечного розподілу матеріалу.

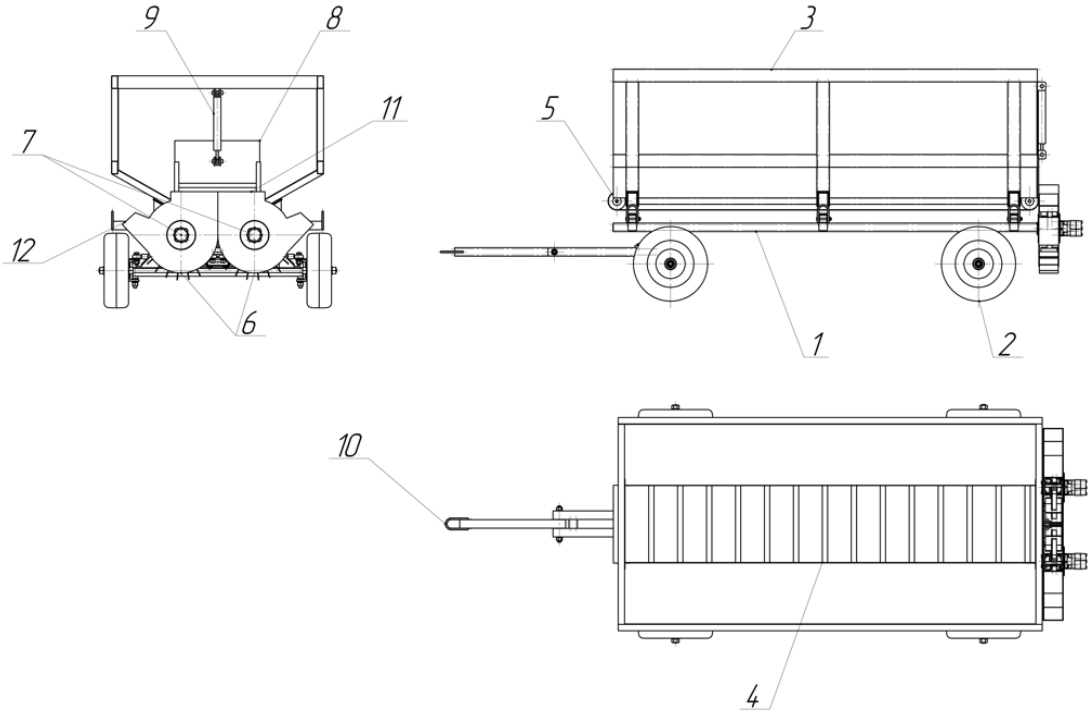


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема розкидача органо-мінеральних-добрив

Масова подача добрив регулюється дозувальною заслінкою 8, положення якої змінюється поршневим гідроциліндром 9. Зміна площі дозувального отвору дає змогу регулювати кількість матеріалу, що через завантажувальне вікно 11 надходить до роторних робочих органів 6. Для агрегатування з трактором передбачено дишло 10, а підведення робочої рідини до гідроприводів здійснюється від гідросистеми енергетичного засобу.

Технологічний процес роботи розкидача розпочинається з подачі органо-мінеральної суміші скребковим транспортером 4 до дозувальної зони. Після проходження через дозувальний отвір матеріал надходить до роторів 6, де захоплюється лопатями та набуває необхідної швидкості. Після сходження з робочих поверхонь частинки рухаються у повітряному середовищі та осідають на поверхні поля, формуючи заданий поперечний розподіл добрив.

Параметри розподілу визначаються частотою обертання роторів 6, геометричним положенням робочих і напрямних лопатей 12, а також інтенсивністю подачі матеріалу. Їх регулювання дає змогу адаптувати технологічний процес до гранулометричного складу, вологості, щільності та сипкості органо-мінеральної суміші.

Особливістю конструкції є роздільний гідравлічний привод транспортера 4 та роторних робочих органів 6. Незалежне регулювання швидкості транспортера і частоти обертання роторів забезпечує узгодження подачі матеріалу з режимом його розподілу та створює передумови для стабілізації

норми і підвищення рівномірності внесення добрив. Схему гідравлічного привода розкидача органо-мінеральних добрив наведено на рис. 2.

Гідравлічний привод роторного розкидача органо-мінеральних добрив містить гідравлічний бак *Б*, двосекційний насос *Н*, до складу якого входять насоси H_1 та H_2, з'єднані спільним валом і приводжені в дію від одного двигуна, запобіжні клапани $КП_1$, $КП_2$, розподільники $Р_1$, $Р_2$, $Р_3$, дільник потоку *ДП*, гідродвигуни $ГМ_1$, $ГМ_2$, $ГМ_3$, гідроциліндр *ГЦ*, зворотний клапан *ЗК*, регульовані дроселі $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, фільтр *Ф*, а також напірні та зливні гідролінії.

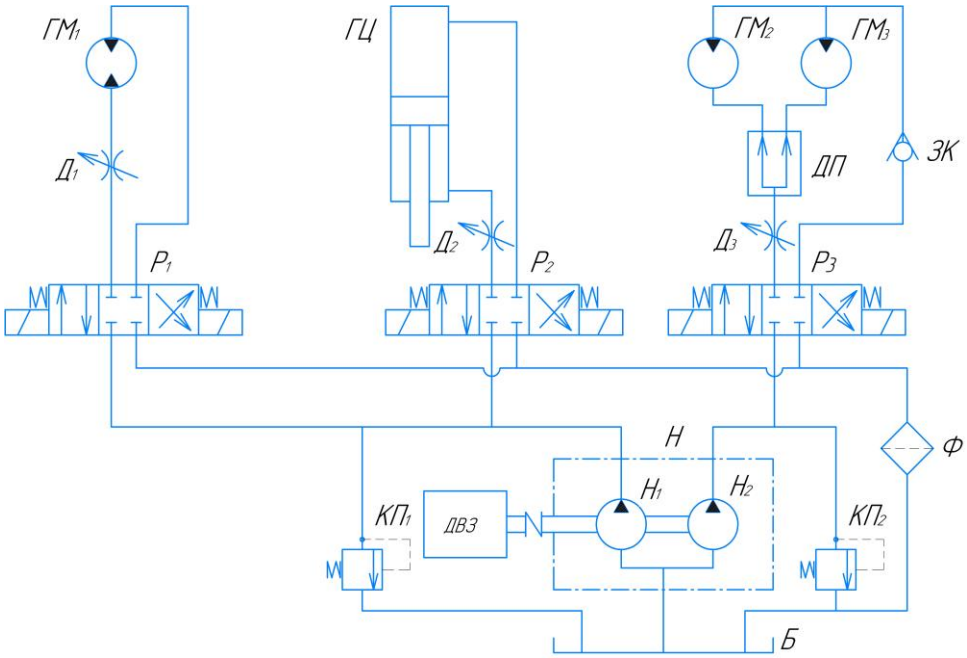


Рис. 2. Схема гідравлічного привода роторного розкидача добрив

Особливістю запропонованої гідравлічної системи є синхронізація роботи гідродвигунів $ГМ_1$, $ГМ_2$, $ГМ_3$ та гідроциліндра *ГЦ* за рахунок застосування двосекційного насоса *Н*, секції якого приводяться в обертання від спільного приводного вала. Така схема фактично формує дві функціонально пов'язані гідравлічні контури, об'єднані єдиним механічним приводом насоса, що забезпечує узгодженість подачі робочої рідини та стабільність функціонування виконавчих механізмів.

Увімкнення та вимкнення гідродвигунів здійснюється шляхом перемикання відповідних гідророзподільників $Р_1$, $Р_2$ і $Р_3$. Регулювання витрати робочої рідини, яка надходить до гідродвигунів $ГМ_1$, $ГМ_2$, $ГМ_3$ та гідроциліндра *ГЦ*, здійснюється регульованими дроселями $Д_1$, $Д_2$ і $Д_3$. Це дає змогу змінювати частоту обертання роторів і швидкість переміщення виконавчих елементів відповідно до заданого технологічного режиму роботи розкидача.

Гідравлічний привод сприяє спрощенню кінематичної структури розкидача, зменшенню кількості механічних передач, розширенню діапазону регулювання робочих параметрів і підвищенню керованості технологічного процесу. Скребковий транспортер забезпечує стабільну подачу добрив до роторів, а регульовані напрямні лопатки дають змогу коригувати траєкторію руху частинок і адаптувати процес розподілу до властивостей матеріалу.

Таким чином, запропонована гідравлічна система створює передумови для оперативного регулювання параметрів робочих органів, стабілізації подачі добрив та підвищення рівномірності їх розподілу по ширині захвату.

Список використаних джерел

1. Скрильник Є. В., Бацула О. О., Розумна Р. А. Перспективи і напрямки виробництва та застосування органо-мінеральних добрив і біостимуляторів в землеробстві України. Вісник аграрної науки Південного регіону. 2000. Вип. 1. С. 223–228. Хмельницький Національний Університет

2. Руткевич В., Кажуро М. Сучасні тенденції розвитку техніки для внесення сипучих органо-мінеральних добрив. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 2025. № 4(355). С. 531–537. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-74

3. Іванов М.І., Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Гідравліка: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 222 с.

УДК 631.347

РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ ОГІРКА В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ

Савченко В.М., Чумальчук А. Р.
Поліський національний університет

Вирощування огірка у захищеному ґрунті є одним із найбільш прибуткових, але водночас енерго- та ресурсомістких напрямків сучасного овочівництва. Огірок є культурою з високими вимогами до водно-повітряного режиму кореневої системи через її слабкий розвиток та інтенсивне випаровування вологи великою площею листя.

Традиційні системи зрошення в спорудах закритого ґрунту часто призводять до нерівномірного зволоження, перенасичення субстрату живильним розчином або його нестачі. Це провокує термічний та осмотичний стрес у рослин, викликає стагнацію їхнього розвитку та безпосередньо впливає на інтенсивність продуктивного фотосинтезу в індустріальних теплицях. Як наслідок, знижується врожайність та рентабельність тепличних господарств. Удосконалення систем зрошення шляхом інтеграції сучасних автоматизованих технологій є критично важливим завданням для забезпечення сталого розвитку галузі.

Постановка проблеми. Більшість діючих систем поливу в господарствах України орієнтуються на жорсткі часові інтервали, а не на реальні динамічні потреби рослин. Це призводить до низки технологічних проблем [1-4]:

- Надмірний полив викликає вимивання поживних речовин у нижні шари або дренаж.

- Нестача вологи в години пікової сонячної активності спричиняє появу гіркоти у плодах та скидання зав'язі.
- Відсутність оперативного контролю кислотності (pH) та електропровідності (EC) живильного розчину блокує засвоєння мікроелементів кореневою системою.

Мета дослідження є розробка та техніко-технологічне обґрунтування модернізованої системи крапельного зрошення з автоматичним керуванням, яка забезпечує динамічне дозування води та добрив залежно від мікрокліматичних умов теплиці та стану рослинного ценозу.

Для розв'язання поставлених задач запропоновано комплекс технічних рішень:

1. Інтеграція датчиків вологості та тензометричних систем контролю ваги субстрату. Замість поливу «за розкладом» впроваджується система на основі безперервного вимірювання об'ємного вмісту вологи в матах (мінераловатних або кокосових). Полив вмикається автоматично, коли вологість падає нижче критичної межі (65–70% від повної вологоємності), що дозволяє підтримувати оптимальну математичну модель надійності системи.

2. Автоматизований полив за інтегралом сонячної радіації. Обсяг і частота подачі води коригуються мікропроцесорним контролером на основі даних датчика сонячної радіації (піранометра). Чим вища сонячна активність, тим коротшими є інтервали між поливами (імпульсний полив).

3. Автоматизований розчинний вузол із замкнутим циклом. Модернізація передбачає використання розчинних вузлів, які в реальному часі коригують рівень EC (в межах 1.8–2.5 мСм/см) та pH (5.5–6.0) залежно від фази росту огірка та формальних моделей регулювання мікроклімату. Впровадження системи збору та ультрафіолетової (УФ) дезінфекції дренажних вод дозволяє реалізувати екологобезпечну рециркуляційну технологію поливу, суттєво заощаджуючи водний ресурс та мінеральні добрива.

4. Температурна підготовка води. Огірок вкрай чутливий до термічного шоку. Система вдосконалюється блоком автоматичного підігріву поливної води у накопичувальних резервуарах до оптимальних температур +22…+24°C за допомогою сучасних енергетичних установок.

Впровадження розроблених технічних рішень дозволяє оптимізувати архітектуру системи зрошення в захищеному ґрунті та досягти стабільних показників ресурсозбереження (зниження витрат поливної води на 40–45%, мінеральних добрив — на 20–25%) та продуктивності (підвищення загальної врожайності огірка на 15–18% за рахунок мінімізації стресових факторів).

Висновки. Удосконалення системи зрошення через автоматизацію та перехід на алгоритми імпульсного поливу є головним важелем зниження собівартості виробництва огірка в захищеному ґрунті. Запропоновані інженерні рішення роблять процес вирощування незалежним від помилок обслуговуючого персоналу, гарантують стабільну якість продукції та забезпечують зростання прибутку тепличних господарств.

Список використаних джерел

1. Савченко В. М., Міненко С. В., Борисюк М. А. Проблеми розвитку крапельного зрошення. Технічний прогрес в АПВ: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 9-10 травня 2023 р. Харків: ДБТУ, 2023. С. 88-91.
2. Савченко Л.Г., Савченко В.М., Міненко С.В. Аналіз існуючих енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину в системах автоматичного гідропонного поливу сільськогосподарських культур у середовищі захищеного ґрунту. Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола, відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: Вид-во Житомирського держ. ун-ту імені І. Франка, 2022. Вип. 2. С. 174-180.
3. Li Z., Abdullah N. Smart Greenhouse Climate Control with Real-Time Fault Detection and Energy-Aware Automation. Smart Agricultural Technology. 2025. Vol. 13. Art. 101707.
4. . Shamshiri R. R., Kalantari F. Internet of Things (IoT) applications for monitoring and control of smart greenhouses: A systematic review. Journal of Agricultural Engineering. 2024. Vol. 55, No. 2. P. 112–125.

УДК 621.891:631.3

ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СПРЯЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Савченко В.М., Антоненко Є.М.
Поліський національний університет

Надійність і довговічність сільськогосподарських машин значною мірою визначаються технічним станом триботехнічних спряжень, що працюють в умовах змінних навантажень, забруднення абразивними частинками та недостатнього мащення [1, 2]. Найбільш поширеними є спряження типу «вал–втулка», «палець–втулка», «вал–підшипник», посадочні поверхні валів і корпусних деталей. Унаслідок тертя і зношування змінюються геометричні параметри поверхонь, збільшуються зазори, погіршуються умови мащення та зростають динамічні навантаження, що знижує ресурс машин.

Особливо інтенсивне зношування характерне для деталей, які взаємодіють із ґрунтовим середовищем. Його інтенсивність залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, вологості, наявності рослинних решток і режимів експлуатації [4, 6, 7]. Тому важливим напрямом підвищення ефективності технічного сервісу є відновлення зношених деталей із забезпеченням необхідного післяремонтного ресурсу [2].

Технологічні способи відновлення триботехнічних спряжень можна поділити на механічні, наплавлювальні, газотермічні, електрохімічні, деформаційні, електрофізичні та комбіновані [1, 2]. Вибір способу визначається

матеріалом деталі, характером і величиною зношування, умовами роботи та вимогами до точності відновлення.

Одним із найбільш доступних є спосіб ремонтних розмірів, який полягає у механічній обробці однієї з деталей спряження до встановленого ремонтного розміру та використанні спряженої деталі відповідного розміру [2]. Його застосовують для шийок валів, втулок, пальців та підшипників ковзання. Перевагами є простота та невисока собівартість, а недоліком – обмежена кількість повторних ремонтів.

Значного поширення набули наплавлювальні технології. Електродугове, вібродугове та плазмове наплавлення дозволяють компенсувати значний знос і одночасно підвищити твердість та зносостійкість поверхневого шару [8]. Такі способи застосовують для відновлення валів, осей, пальців, роликів і посадочних поверхонь. Разом із тим необхідно враховувати тепловий вплив, який може спричиняти залишкові напруження та деформації.

Перспективним напрямом є застосування зносостійких покриттів, властивості яких адаптовані до конкретних умов експлуатації. Дослідження свідчать, що раціональне зміцнення поверхні дозволяє суттєво змінювати характер та інтенсивність зношування деталей в абразивному середовищі [3, 8, 9]. При цьому важливим є забезпечення оптимального співвідношення твердості, пластичності, міцності зчеплення покриття з основою та зносостійкості.

Для деталей із малим зносом можуть використовуватися електрохімічні способи – хромування, залізнення, нікелювання та нанесення композиційних покриттів [2]. Вони забезпечують високу точність відновлення і необхідні фізико-механічні властивості поверхневого шару, однак потребують спеціального обладнання та дотримання екологічних вимог.

До ефективних методів також належить пластичне деформування, за якого відновлення геометричних параметрів відбувається за рахунок перерозподілу матеріалу деталі. До таких способів належать роздавання, обтискання, осаджування та витягування [2]. Поверхневе пластичне деформування може додатково зменшувати шорсткість і підвищувати втомну міцність деталей.

Серед сучасних технологій важливе місце займають електрофізичні способи обробки, зокрема електроерозійне та електроіскрове зміцнення. Вони дозволяють здійснювати локальну обробку найбільш навантажених зон і формувати поверхневий шар із підвищеною зносостійкістю [3].

Дослідження К. В. Борака показали, що під час зміцнення робочих поверхонь необхідно враховувати не лише середню величину зношування, а й його розподіл по окремих ділянках деталі [3, 4]. Формування поверхні з диференційованою зносостійкістю дозволяє забезпечити більш рівномірне зношування та довше зберігати раціональну геометричну форму робочого органу. Такий підхід є особливо актуальним для деталей ґрунтообробних машин, де окремі ділянки зазнають різного абразивного навантаження [10].

Ефективність зміцнення підтверджується дослідженнями лезових і дискових робочих органів. Раціональне розташування зміцнених зон і застосування зносостійких матеріалів дозволяють підвищити довговічність

робочих поверхонь [9]. Водночас у процесі експлуатації фізико-механічні властивості поверхневого шару можуть змінюватися, що підтверджено дослідженнями зміни поверхневої твердості лемішно-лапових робочих органів [5].

Особливе значення має забезпечення рівностійкості зношування. Диференційоване зміцнення окремих ділянок дозволяє узгодити їх зносостійкість із фактичним рівнем абразивного навантаження [10]. Це створює передумови для збереження форми деталі, збільшення ресурсу та стабілізації технологічних показників сільськогосподарських машин.

Перспективним напрямом є також використання триботехнологій відновлення, що забезпечують формування вторинних структур безпосередньо в процесі експлуатації [2]. Такі технології доцільно застосовувати переважно на початкових стадіях зношування як доповнення до традиційних способів ремонту.

Отже, вибір технологічного способу відновлення триботехнічного спряження повинен здійснюватися комплексно з урахуванням виду зношування, матеріалу деталей, умов тертя, необхідної точності та прогнозованого ресурсу [1, 2, 4]. Найбільш перспективним є поєднання компенсації зносу з локальним або диференційованим зміцненням поверхні [3, 8–10]. Подальший розвиток технологій відновлення доцільно спрямовувати на застосування композиційних покриттів, електрофізичних способів та комбінованих методів, що забезпечують підвищення довговічності машин і зниження матеріалоємності ремонтного виробництва.

Список використаних джерел

1. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія / за ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2017. 278 с.

2. Аулін В. В. та ін. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення : монографія / за ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.

3. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04. Житомир, 2013. 214 с.

4. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11. Київ, 2021. 49 с.

5. Борак К. В. Зміна поверхневої твердості лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин у процесі експлуатації. Біоресурси і природокористування. 2020. Т. 12, № 1–2. С. 90–96. DOI: 10.31548/bio2020.01.011.

6. Borak K. V. Effect of plant remains on abrasive wear rate of the tilling machine movable operating parts. Problems of Tribology. 2020. Vol. 25, No. 1/95. P. 57–62. DOI: 10.31891/2079-1372-2020-95-1-57-62.

7. Borak K. V. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Problems of Tribology. 2020. Vol. 25, No. 2/96. P. 34–41. DOI: 10.31891/2079-1372-2020-96-2-34-41.

8. Савченко В. М., Борак К. В., Голощук В. О., Гордієнко В. С. Зносостійкі покриття для машин, що працюють в абразивному середовищі. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2020. № 3. С. 45–50.

9. Rogovskii I. L., Borak K. V., Maksimovich E. Yu., Smelik V. A., Voinash S. A., Maksimovich K. Yu., Sokolova V. A. Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes T-series. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679, No. 4. Art. 042084. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/4/042084.

10. Борак К. В. Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2022. № 1. С. 19–30. DOI: 10.31649/2307-5376-2022-1-19-30.

УДК 621.793:621.791.75:669.017.3:620.193:631.3

СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНОСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Сайчук О. В., Захаров А. В., Боровик О. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Лабораторні випробування зносостійких покриттів є необхідним етапом розроблення технологій відновлення, однак остаточну оцінку їх ефективності можна отримати лише в реальних умовах експлуатації. Для робочих органів ґрунтообробної техніки характерні одночасна дія абразивних частинок, змінна вологість і щільність ґрунту, ударні та вібраційні навантаження, а також поступова зміна геометрії різальної частини. У таких умовах достовірне оцінювання зносу потребує комплексу взаємодоповнювальних засобів контролю геометричних, масових, структурних і температурно-динамічних параметрів.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження зношування ґрунтообробних робочих органів акцентують на комплексному впливі властивостей ґрунту, геометрії деталі, режимів роботи та характеристик поверхневого шару [1, 4, 5]. Для кількісної оцінки поряд із масовими та лінійними вимірюваннями дедалі ширше застосовують 3D-сканування і цифрову реконструкцію зношених поверхонь, що дає змогу визначати локальні зміни

форми та об’єму матеріалу [2, 3]. Це обґрунтовує поєднання традиційних і цифрових методів контролю під час польових випробувань.

Мета дослідження. Обґрунтувати комплекс сучасних вимірювальних технологій для кількісного оцінювання зносу робочих органів ґрунтообробної техніки під час польових випробувань та підвищення достовірності оцінки їх експлуатаційної стійкості.

Результати дослідження. Польові випробування проводилися для плужних лемішів і культиваторних стрілчастих лап, відновлених із застосуванням електрошлакового наплавлення та компенсуючих вставок із модифікованого металу. Загальна площа обробітку становила 74 га для плужних лемішів і 35 га для культиваторних лап. Випробування охоплювали чорноземи, супіщані, глинисті та важкі ґрунти, що забезпечило оцінювання поведінки деталей у різних за абразивністю та навантаженням середовищах. Глибина обробітку для культиваторних лап становила 5–8 см, для лемішів — до 25 см.

Перед початком експлуатаційних випробувань формувався вихідний вимірювальний стан кожного зразка. Геометричні параметри визначали цифровим штангенциркулем, а масу фіксували до початку роботи. Для культиваторної лапи базові розміри становили 270×50×8 мм при масі близько 780 г; для плужного лемеша — 450×120×10 мм. Фіксація вихідних параметрів забезпечувала подальшу порівнянність результатів.

Основним кількісним показником польового зношування була втрата маси. Зважування виконували після кожного етапу обробітку: через 10 га для культиваторних лап і через 20 га для плужних лемішів, із точністю до 0,01 г. Така періодичність дозволила простежити не лише кінцеву, а й поточну інтенсивність зношування. Для дослідних деталей відзначено відносно рівномірну зміну маси впродовж експлуатації.

Масовий метод доповнювався фотофіксацією поверхонь після окремих етапів роботи. Масштабні фотографії використовувалися для виявлення зон найбільшого зношування, макро- та мікродефектів і зміни форми різальної частини. Для детальнішого аналізу геометричних змін застосовували лазерне сканування та 3D-реконструкційний аналіз, що дає змогу локалізувати ділянки втрати матеріалу й оцінити просторову нерівномірність зношування [2, 3].

Структурний стан поверхні після польових випробувань контролювали металографічним методом. Аналіз показав, що модифіковані вставки зберігали відносну рівномірність фаз після тривалого абразивного впливу, а зразки з підвищеним вмістом карбідних і боридних складових демонстрували менші структурні зміни. Металографічний контроль використовувався для верифікації результатів макровимірювань.

До комплексу польового моніторингу також включали інфрачервоні термометри для реєстрації температури поверхні та датчики вібрації для оцінювання рівномірності навантаження на робочі органи. Ці вимірювання не характеризують знос безпосередньо, але фіксують умови його формування та підвищують коректність інтерпретації результатів.

Порівняльні польові дослідження охоплювали серійні деталі, леміші із заводським наплавленням «Сормайт-1» та деталі з модифікованими

компенсуючими вставками. За результатами вимірювань модифіковані зразки характеризувалися приблизно на 30 % меншою втратою маси порівняно зі стандартними деталями, а узагальнення результатів випробувань свідчить про підвищення зносостійкості до 40 % [6, 7]. Перевага проявлялася також у кращому збереженні геометрії та повільнішому зниженні твердості.

Періодичність вимірювань дозволила оцінити характер накопичення зносу. Для культиваторної лапи на послідовних етапах фіксувалося зменшення маси приблизно на 4 г, а для плужного лемеша — близько 6 г. Поетапна реєстрація у поєднанні з фотофіксацією та 3D-аналізом формує часовий ряд, придатний для подальшого прогнозування залишкового ресурсу.

Перевагою багатоканального контролю є можливість взаємної перевірки результатів. Незначна інтегральна втрата маси не виключає локального зменшення товщини в критичній зоні, яке може бути виявлено лазерним скануванням. Аналогічно, стабільність геометрії доцільно співвідносити зі збереженням твердості та структурного стану поверхні. Узгодження незалежних вимірювальних каналів підвищує достовірність оцінювання ресурсу деталі.

З метрологічної точки зору суттєвим є співвідношення між дискретністю засобу вимірювання та фактичною зміною контрольованої величини. За точності зважування до 0,01 г поетапна втрата маси близько 4 г для культиваторної лапи та 6 г для плужного лемеша значно перевищує крок реєстрації приладу. Для зіставлення різних серій необхідно зберігати однакову послідовність вимірювань, контрольні інтервали та єдині правила фіксації геометричних параметрів, оскільки саме стандартизація процедури визначає відтворюваність результатів.

Інформативність контролю підвищується, якщо результати різних каналів зводити до єдиного вимірювального паспорта етапу випробувань: площа обробітку, тип ґрунту, глибина роботи, маса деталі, геометричні відхилення, фотофіксація, дані 3D-сканування, температура поверхні та вібраційне навантаження. Масова втрата характеризує інтегральну інтенсивність руйнування, а цифрова геометрична модель — просторовий розподіл втраченого матеріалу, що дає змогу виявляти критичне локальне зношування різальної кромки.

Висновки. Сучасна польова оцінка зношування робочих органів ґрунтообробної техніки доцільно реалізовувати як багатоканальну вимірювальну систему. Цифрові геометричні вимірювання та високоточне зважування забезпечують кількісну оцінку втрати матеріалу; фотофіксація і лазерне 3D-сканування локалізують зони руйнування; металографічний аналіз контролює структурні зміни; температурні та вібраційні датчики характеризують умови навантаження. Комплексування цих даних підвищує інформативність польових випробувань і створює передумови для цифрового моніторингу ресурсу відновлених деталей у реальній експлуатації.

Список використаних джерел

1. Malvajerdi A. S. Wear and coating of tillage tools: A review // Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

2. Cucinotta F., Scappaticci L., Sfravara F., Morelli F., Mariani F., Varani M., Mattetti M. On the morphology of the abrasive wear on ploughshares by means of 3D scanning // Biosystems Engineering. 2019. Vol. 179. P. 117–125. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.01.006.

3. Vrublevskyi O., Olejniczak K., Napiórkowski J., Gonera J. Modeling wear of different surface layers of agricultural tools in soil abrasive mass // Measurement. 2025. Vol. 242. 116076. DOI: 10.1016/j.measurement.2024.116076.

4. Kalácska Á., De Baets P., Fauconnier D., Schramm F., Frerichs L., Sukumaran J. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines // Wear. 2020. Vol. 442–443. 203107. DOI: 10.1016/j.wear.2019.203107.

5. Natsis A., Petropoulos G., Pandazaras C. Influence of local soil conditions on mouldboard ploughshare abrasive wear // Tribology International. 2008. Vol. 41, No. 3. P. 151–157. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.06.002.

6. Захаров А. В., Рибалко І. М., Тіхонов О. В. Зносостійкість та ресурс відновлених і зміцнених електрошлаковим наплавленням лемішів і культиваторних стрілчастих лап // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2024. № 4 (497). С. 20–27. DOI: 10.15589/znp2024.4(497).4.

7. Захаров А. В. Прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки під час їх відновлення методом електрошлакового наплавлення // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2024. № 4 (91). С. 24–32. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.4.3.

УДК 631.3

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КЕРАМІКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

Соболєва М.В., Тіхонов О.В.
Державний біотехнологічний університет

Ось якісний переклад тез українською мовою з дотриманням вимог академічного та науково-технічного стилю, а також із виправленням описок і граматичних помилок оригіналу:

Кераміка – це неметалеві неорганічні матеріали на основі кристалічних сполук неметалів і металів, синтезованих та консолідованих різними методами для надання заданих властивостей і геометрії [1-4]. Різноманітність складів, структур і технологій керамічних матеріалів зумовлює досягнення широкого спектра їхніх властивостей та сфер застосування. Кераміка належить до структурно- та фазочутливих матеріалів. Навіть за однакового хімічного складу властивості керамічних матеріалів можуть суттєво відрізнятися залежно від вихідних матеріалів, методів і параметрів технології, структури та фазового

складу спечених матеріалів, проміжних методів обробки і якості поверхні, а також методів визначення властивостей.

Технічна кераміка є одним із найперспективніших матеріалів для зміцнення деталей машин, оскільки вона дає змогу вузлам працювати в екстремальних умовах, де метали руйнуються.

Перехід від традиційних сплавів до керамічних компонентів і покриттів дозволяє підвищити ресурс обладнання у 3–10 разів (наприклад, нанесення тонких шарів кераміки на металеву основу методами газотермічного, плазмового напилення або лазерного наплавлення дає змогу отримувати зносостійкі покриття для валів, шнеків екструдерів, плунжерів та інших деталей). Використання металізованих порошкових матеріалів технічної кераміки для зміцнення деталей машин – це один із напрямів у сучасному матеріалознавстві та машинобудуванні, що розвиваються найдинамічніше [1-4].

Цей підхід дає змогу поєднати найкращі властивості двох різних класів матеріалів: високу твердість, зносостійкість і термостійкість кераміки з пластичністю, ударною в'язкістю та теплопровідністю металів. Такі матеріали, як оксид алюмінію (Al_2O_3), діоксид цирконію (ZrO_2), нітрид кремнію (Si_3N_4), карбід кремнію (SiC), використовуються для зміцнення деталей, що працюють в екстремальних умовах (тертя, абразивний знос, високі температури, агресивні середовища).

Незважаючи на високі перспективи, масове впровадження стримується кількома чинниками: високою крихкістю (чутливістю до ударних навантажень та концентраторів напружень), складністю механічної обробки, а також складністю з'єднання з металом через різницю в коефіцієнтах термічного розширення (КТР).

Керамічні матеріали погано працюють в умовах механічних або термічних ударів, а також за циклічних умов навантаження. Їм властива висока чутливість до надрізів. Водночас керамічні матеріали мають високу жароміцність, чудову корозійну стійкість і малу теплопровідність, що дає змогу з успіхом використовувати їх як елементи теплового захисту. За температур понад 1000°C кераміка є міцнішою за будь-які сплави, зокрема й суперсплави, а її опір повзучості та жароміцність є вищими [5-7].

За своєю природою керамічні матеріали є крихкими. Однак за високої швидкості навантаження, коли ця швидкість перевищує швидкість руху дислокацій у металі, пластичні властивості металів не відіграватимуть жодної ролі, і метал буде таким же крихким, як і кераміка. У цьому конкретному випадку кераміка є суттєво міцнішою за метал.

Довговічність робочих органів ґрунтообробних знарядь, що працюють у важких умовах (високі навантаження, агресивні середовища), значною мірою визначається працездатністю вузлів пар тертя, для яких, у свою чергу, визначальним чинником є правильний вибір матеріалу та його обробки. Матеріал для цих деталей повинен мати високу міцність, тріщиностійкість, зносостійкість, корозійну стійкість, технологічність та економічність. Одним із

найперспективніших класів матеріалів, що забезпечують зазначені вимоги експлуатації, є конструкційні керамічні матеріали.

У табл. 1 наведено порівняльні дані характеристик міцності, тріщиностійкості та розміру зерна [5-7].

Таблиця 1. Характеристика конструкційних керамік

Матеріал	$\sigma_{зн}$, МПа	$К_{1с}$, МПа×м$^{1/2}$
Нітрид кремнію Si_3N_4	450-600	3-5
Карбід кремнію SiC	250	4
Оксид алюмінію Al_2O_3	450	1-2,5
Оксид цирконію ZrO_2	450	5

Перспективність застосування кераміки зумовлюють такі чинники: можливість забезпечувати різні властивості деталей відповідно до вимог умов експлуатації.

Однак широке застосування конструкційної кераміки обмежується її порівняно високою крихкістю та зниженою тріщиностійкістю [5-7]. Дефекти поверхні, неоднорідність структури сприяють утворенню та поширенню тріщин у керамічних матеріалах. Небезпеку крихкого руйнування збільшують зростання розмірів деталей, зниження температури, концентратори напружень, динамічні навантаження, розвиток процесів втоми та інші чинники. Прогнозуванню інтенсивності зношування кераміки присвячено велику кількість праць. На основі теоретичних методів та експериментальних досліджень розроблено залежності визначення інтенсивності зношування від шорсткості поверхні, твердості, навантаження на абразивну частинку та довжини її шляху, від максимальних розтягувальних напружень і температури в контакті. Узагальнені характеристики зношування повніше враховують весь комплекс взаємопов'язаних фізичних, хімічних і механічних явищ, що протікають на поверхнях взаємодіючих тіл у процесі зношування керамічних матеріалів [5-7].

Таким чином, будова та властивості кераміки формуються на всіх стадіях технології: від синтезу вихідних порошків до остаточної термічної обробки. Усі напрями розвитку та вдосконалення технічної кераміки пов'язані з поліпшенням її міцнісних властивостей головним чином за рахунок мінімізації дефектів, що утворюються на різних етапах життєвого циклу.

Широка номенклатура складів технічної кераміки (оксидна, нітридна, змішана та армована) розширює сфери її використання й викликає необхідність розробки та реалізації комплексного системного підходу до вирішення проблеми формування надщільної (бездефектної) технічної кераміки з підвищеним комплексом фізико-механічних і експлуатаційних властивостей.

Список використаних джерел

1. Керамические инструментальные материалы / Г.Г. Гнесин, И.И. Осипова, Г.Д. Ронталь и др. под ред. Г.Г. Гнесина. Киев: Техника, 1991. 338 с.

2. Технологія ремонту машин та обладнання: навч. посібник / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, С.О. Лузан та ін. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.

3. Теоретичні основи та технологічні процеси відновлення деталей машин. Навчальний посібник. / М.І. Черновол, І.В. Шепеленко, І.Ф. Василенко, М.В. Красота, О.В. Тіхонов, О.А. Науменко, І.М. Рибалко. Харків: «Діса плюс», 2025. 348 с.

4. Ремонт машин та обладнання: підручник. / за ред. проф. О.І. Сідашенко, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

5. Дашутін А.О., Тіхонов О.В. Технологія зміцнення методом нанесення технічної кераміки дискових робочих органів борін. *Матеріали ІІІ Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем»* 19-20 жовтня 2022р. Рівне: НУВГП, 2022. С. 74-76.

6. Дашутін А.О., Тіхонов О.В. Обґрунтування методу ремонту дискових робочих органів. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»* 24-25 листопада 2022 року. Харків, ДБТУ, 2022. С. 362-363.

7. Гончаренко О.О., Ярошенко Б.М. Аналіз методів нанесення керамічних покриттів різними способами для підвищення експлуатаційної стійкості та зносостійкості деталей. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport.* 2025. №27. С. 132-139.

УДК 631.372:631.43

ОБГРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ ШИН ТА ВЕЛИЧИНИ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАПРУГИ В ЗОНІ КОНТАКТУ З ҐРУНТОМ

Зубко В. М.
Полтавський державний аграрний університет,
Соколік С. П.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Інтенсивне використання сучасних високопотужних колісних тракторів зумовлює підвищення навантаження на ґрунт та, відповідно, ризику його ущільнення. Одним із основних показників, що характеризує взаємодію колісного рушія з ґрунтом, є вертикальна напруга в зоні контакту шини з опорною поверхнею. Її величина визначає характер передачі навантаження від колеса до ґрунту та впливає на несучу здатність ґрунтового шару, формування колії, ущільнення і, у кінцевому результаті, умови росту сільськогосподарських культур [1-3].

Особливого значення проблема набуває для потужних тракторів, для яких значні навантаження на осі можуть призводити до перевищення допустимих значень напруги в ґрунті навіть за використання шин великого типорозміру. Тому вибір типорозміру шини та раціонального внутрішнього тиску є важливою складовою забезпечення ефективної та екологічно безпечної експлуатації машинно-тракторних агрегатів [4-6].

Аналіз останніх досліджень. Для визначення площі плями контакту та оцінювання навантаження на ґрунт застосовують низку напівемпіричних моделей, що враховують навантаження на колесо, геометричні параметри шини, її деформацію та внутрішній тиск. Значного поширення набула модель Ляско, яка дає змогу визначати довжину і ширину плями контакту з урахуванням радіальної деформації шини [4, 5].

Водночас припущення про еліптичну форму плями контакту не завжди достатньо точно описує реальну геометрію контакту тракторної шини. Дослідження показують доцільність використання супереліптичної форми плями контакту. Для неї геометрія визначається показником степеня супереліпса, а при його значенні (n=3,2) форма плями контакту наближається до фактичної форми, характерної для тракторних шин [4, 5].

Для прогнозування вертикальної напруги в ґрунті використовуються також моделі, що описують її зменшення зі збільшенням глибини. Застосування таких моделей у поєднанні з розрахунком реальної площі плями контакту дозволяє оцінити вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів шин на навантаження ґрунту [1, 3, 5].

Метою досліджень є оцінювання впливу внутрішнього тиску та типу шин на вертикальну напругу в зоні контакту колісного рушія з ґрунтом і визначення їхнього впливу на агроекологічну ефективність колісного трактора Case IH Magnum 400.

Результати досліджень. Для визначення вертикальної напруги під центром колісного рушія послідовно визначали площу плями контакту, радіальну деформацію та динамічний радіус шини. Площу контакту визначали з урахуванням супереліптичної форми плями контакту [4, 5]. Подальше оцінювання вертикальної напруги виконували з урахуванням її зміни за глибиною ґрунтового профілю [1, 3].

Дослідження проведено для трактора Case IH Magnum 400, обладнаного шинами Trelleborg 600/70 R30 та 710/75 R42 і Mitas 600/70 R30 та 710/70 R42. Розглядалися режими роботи трактора на вибраних передачах та різні значення внутрішнього тиску в шинах.

Результати розрахунків показали, що максимальні значення вертикальної напруги виникають безпосередньо в зоні контакту шини з ґрунтом та суттєво перевищують значення 80 кПа. Це свідчить про потенційний ризик надмірного навантаження ґрунту при використанні досліджуваних шин у відповідних режимах експлуатації.

Порівняння шин передньої осі 600/70 R30 показало, що при мінімально допустимому внутрішньому тиску шина Mitas створює на 28,5 % меншу

вертикальну напругу на ґрунт порівняно з Trelleborg. При максимально допустимому тиску ця різниця становить 34,3 %. Для задніх шин залежність має інший характер: при мінімально допустимому тиску шина Trelleborg забезпечує на 8,5 % меншу вертикальну напругу, а при максимальному тиску - на 6,07 % меншу порівняно з Mitas.

Встановлено, що зміна режиму роботи трактора на вибраних передачах при максимальній потужності практично не змінює вертикальну напругу в зоні контакту. Її зміна становить близько 1 %. Це свідчить про те, що для досліджуваних умов визначальними чинниками формування вертикальної напруги є навантаження на колесо, конструктивні параметри шини та її внутрішній тиск, а не безпосередньо номер передачі [3-6].

Водночас зміна внутрішнього тиску в шині однієї осі не дає змоги компенсувати вертикальне навантаження, сформоване на іншій осі трактора. Отже, раціоналізація тиску повинна розглядатися комплексно для передніх і задніх шин з урахуванням фактичного розподілу маси та навантаження між осями [5, 6].

Для узагальненої оцінки отриманих результатів використано агроекологічний індекс ефективності колісного трактора. Встановлено, що максимальне значення індексу при рівноважному врахуванні його складових досягається за мінімально допустимого внутрішнього тиску в шинах: для Trelleborg - 170 кПа у передніх та 180 кПа у задніх шинах; для Mitas - 130 кПа у передніх та 185 кПа у задніх шинах.

При переході з 6-ї на 12-ту передачу максимальне значення агроекологічного індексу збільшується на 10,3 % для комплектування Trelleborg та на 4,0 % для комплектування Mitas. Отриманий результат пояснюється більш ефективною реалізацією тягових властивостей трактора на вищій передачі.

Висновки. Для оцінювання впливу колісного рушія на ґрунт доцільно враховувати фактичну геометрію плями контакту, зокрема використовувати супереліптичну модель замість спрощеного припущення про її еліптичну форму.

Для трактора Case IH Magnum 400 встановлено суттєву залежність вертикальної напруги в зоні контакту від типу шини та внутрішнього тиску. Для передніх шин Mitas 600/70 R30 вертикальна напруга є меншою на 28,5 - 34,3 % порівняно з Trelleborg 600/70 R30 залежно від режиму тиску.

Зміна передачі при роботі з максимальною потужністю практично не впливає на вертикальну напругу в зоні контакту - її варіація становить близько 1 %. Тому основну увагу при зниженні навантаження на ґрунт необхідно приділяти правильному вибору шин і внутрішнього тиску.

Найвищі значення агроекологічного індексу ефективності отримано за мінімально допустимого внутрішнього тиску в шинах. Перехід на вищу передачу також сприяє підвищенню індексу ефективності.

Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування раціонального комплектування тракторів шинами та вибору режимів їх експлуатації з урахуванням необхідності зменшення негативного впливу машин на ґрунт.

Список використаних джерел

1. Keller, T. (2005). A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. Biosystems Engineering, 92(1), 85 – 96. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.05.012

2. Kukharets, S., Zabrodskyi, A., Sheludchenko, B. et al. (2025). Assessment of changes in soil contact stress depending on tractor tire parameters. Sci Rep 15, 172. https://doi.org/10.1038/s41598-024-84102-y

3. Ptak, W., Czarnecki, J., Brennensthul, M., Lejman, K., & Małecka, A. (2023). Evaluation of tires acting on soil in field conditions using the 3D scanning method. Agriculture, 13(5), 1094. https://doi.org/10.3390/agriculture13051094

4. Sokolik S., Kozhushko A., Zubko V., Shuliak M., Yaryta O. (2026). Modeling of tire-soil interaction: The influence of inflation pressure and permissible loads on contact patch area. International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. Vol. 24. 379 - 387. dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue24.34

5. Saarilahti, M. (2002). Soil interaction model. University of Helsinki, Department of Forest Resource Management. – available at: https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstre ams/f76aeb7a-bf28-4143-ae1eb0bfaaa62ba3/content

6. Alkhalifa N., Tekeste M.Z., Jjagwe P., Way T.R. (2024). Effects of vertical load and inflation pressure on tire-soil interaction on artificial soil, Journal of Terramechanics, 112, 19 – 34, https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.11.002

УДК 631.362.3:633.1

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ

Степаненко С. П., Мельник В. А.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна потребує удосконалення технологій розділення зернових сумішей за комплексом фізико-механічних властивостей. Одним із перспективних напрямів є використання пневмовідцентрових сепараторів, у яких на частинки одночасно діють відцентрові, інерційні, вібраційні та аеродинамічні сили. Поєднання таких механізмів створює можливість підвищити інтенсивність сепарації та розширити функціональні можливості обладнання.

Разом із тим ефективність розділення в таких машинах визначається значною кількістю взаємопов’язаних конструктивних і режимних факторів. Зміна амплітуди коливань, геометрії робочої поверхні, подачі матеріалу та

параметрів аспірації змінює траєкторії руху зернівок і час їх перебування в зоні сепарації. Тому встановлення впливу окремого параметра без урахування його взаємодії з іншими факторами не дає змоги однозначно визначити раціональний режим роботи машини.

Особливої уваги потребує встановлення закономірностей сумісної дії кінематичних та конструктивних параметрів конічного решета на вихід цільової фракції. Саме тому актуальним є проведення багатофакторного експерименту з подальшим статистичним опрацюванням результатів та побудовою математичної моделі процесу сепарації.

Аналіз останніх досліджень. У попередніх дослідженнях [1-4] розглянуто процес розділення насіннєвих матеріалів у вібро-пневмовідцентрових сепараторах, де ефект сепарації формується внаслідок одночасної дії відцентрової сили, вібраційного впливу та повітряного потоку. Запропоновані теоретичні моделі враховують сили інерції, тяжіння, тертя та аеродинамічний опір і дають змогу оцінювати траєкторію руху окремих компонентів зернової суміші.

У роботі [3] досліджувалася динаміка переміщення зернової суміші по розподільній поверхні вібраційного відцентрового сепаратора. Показано, що рівномірність розподілу матеріалу по робочій поверхні є одним із визначальних факторів стабільності технологічного процесу.

Отже, результати попередніх досліджень підтверджують значний вплив кінематичних і конструктивних характеристик сепаратора на процес розділення. Водночас питання комплексного впливу амплітуди коливань, кута нахилу конічного решета, подачі матеріалу та параметрів аспірації на вихід цільової фракції потребує додаткового експериментального обґрунтування.

Мета. Метою досліджень є експериментальне встановлення закономірностей впливу основних режимно-конструктивних параметрів пневмовідцентрового сепаратора з конічним решетом на вихід цільової фракції.

Результати. Експериментальні дослідження виконували методом багатофакторного планування експерименту на лабораторно-експериментальній установці пневмовідцентрового сепаратора з конічним решетом. Робоча система установки включала ротор із конічними решетами, механізм вібраційного приводу, систему подачі зерна та аспіраційний контур.

Дослідження проводили на попередньо очищеному насінні озимої пшениці з вологістю 13-14 % та початковою засміченістю 1,5-2,0 %. Як критерій ефективності сепарації приймали вихід цільової, або важкої, фракції. Його визначали як відношення маси отриманої цільової фракції до загальної маси матеріалу після сепарації:

$$B_1 = \frac{m_1}{m} \cdot 100$$

де (B_1) - вихід основної фракції, %; (m_1) - маса цільової фракції, кг; (m) - загальна маса отриманого матеріалу, кг.

Для дослідження було вибрано п’ять факторів, які характеризують режимно-конструктивний стан сепаратора: амплітуду коливань сепарувальної

секції (a), кут нахилу твірної конічного решета до горизонту (φ), подачу насіннєвого матеріалу (q), величину щілини заслінки аспіраційної системи (h) та прискорення вібрації (A).

Фактори змінювали на трьох рівнях. Амплітуду коливань досліджували в межах 0,003-0,005 м, кут нахилу твірної конуса - 1,470-1,500 рад, подачу зерна - 0,420-0,695 кг/с, величину щілини аспіраційної заслінки - 0,010-0,016 м, а прискорення вібрації – 55-75 м/с².

Регулювання факторів здійснювали безпосередньо конструктивними та технологічними елементами установки. За результатами статистичного опрацювання експериментальних даних отримано регресійну модель другого порядку, яка встановлює залежність виходу основної фракції від п’яти досліджуваних факторів:

$$B_1 = f(a, \varphi, q, h, A)$$

Повна модель включає лінійні, квадратичні та парні взаємодії факторів. Така структура дозволяє врахувати не тільки самостійний вплив кожного параметра, але й нелінійний характер процесу та взаємний вплив режимних і конструктивних характеристик. Статистичний аналіз показав, що отримана модель є адекватною за критерієм Фішера при довірчій імовірності 0,95, а значущість окремих коефіцієнтів регресії оцінювалася за критерієм Стьюдента. Отже, модель може бути використана для аналізу поверхні відгуку та визначення області раціонального функціонування сепаратора.

Аналіз поверхонь відгуку показав виражену нелінійність залежності виходу цільової фракції від досліджуваних параметрів. Зокрема, за середніх значень кута нахилу конічного решета, повітряного режиму та прискорення вібрації збільшення амплітуди коливань від 0,003 до 0,005 м загалом супроводжувалося зменшенням виходу важкої фракції. За подачі $q = 0{,}420$кг/с вихід змінювався від 41,30 до 25,19%, а за (q=0,695) кг/с - від 35,25 до 18,78%. Це свідчить про недоцільність надмірного збільшення амплітуди за досліджуваних умов.

Вплив подачі зерна мав екстремальний характер. Зі збільшенням подачі від 0,420 до приблизно 0,53–0,56 кг/с вихід цільової фракції підвищувався, після чого подальше збільшення навантаження призводило до його зменшення. Максимальне розрахункове значення виходу для пари факторів «амплітуда - подача» становило 47,17 % за (a=0,003) м і (q=0,533) кг/с.

Взаємодія амплітуди коливань із кутом нахилу конічного решета також мала нелінійний характер. Найвище розрахункове значення виходу в межах відповідної поверхні відгуку становило 49,07 % при (a=0,003) м та ($\varphi = 1{,}470$) рад. Зі збільшенням амплітуди до 0,004 м вихід зменшувався, після чого за окремих значень кута спостерігалося його часткове відновлення. Такий характер залежності свідчить про наявність взаємодії між кінематичним режимом руху робочої секції та геометрією сепарувальної поверхні.

Узагальнення результатів досліджень дозволило визначити область параметрів, яку доцільно використовувати для подальшого налаштування сепаратора: амплітуда коливань близько (a=0,004) м, кут нахилу твірної

конічного решета ($\varphi = 1{,}485$) рад, подача матеріалу близько ($q = 0{,}49$) кг/с, величина щілини аспіраційної заслінки (h=0,010) м та прискорення вібрації близько (А=60) м/с². Зазначені значення слід розглядати як рекомендовану область налаштування, сформовану за результатами комплексного аналізу експериментальних даних і поверхонь відгуку.

Висновки. За результатами п’яти факторного експерименту отримано математичну модель другого порядку, яка описує залежність виходу цільової фракції від амплітуди коливань, кута нахилу конічного решета, подачі зерна, параметрів аспірації та прискорення вібрації. Адекватність моделі підтверджено статистичними критеріями Фішера та Стьюдента.

Список використаних джерел

1. Котов Б.І., Степаненко С.П., Калініченко Р.А., Швидя В.О., Лісецький В.О. Фізико-механічні моделі технологічних процесів і установок для післязбиральної обробки зернових та олійних культур. Монографія. - Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. 2025. 504с. https://doi.org/10.37204/978-617-640-728-7

2. Степаненко С.П. Науково-практичні основи створення комбінованих решітно-повітряних машин для сепарації зерна. Монографія. Вінниця : ТОВ «НІЛАН-ЛТД», 2025. 300 с. https://doi.org/10.37204/978-617-558-385-2

3. Котов Б.І., Степаненко С.П. Основи теорії та технології повітряної сепарації зернових матеріалів. Монографія. Київ: ЦП Компринт, 2023. 427 с.: іл. https://doi.org/10.37204/978-617-8269-64-7

4. Stepanenko, S., Kotov, B., Kuzmych, A., Aneliak, M., Volyk, D., Melnyk, V., & Kalinichenko, R. (2025). Mathematical modeling of grain movement dynamics in the processes of air-centrifugal separation of grain material. Journal of Central European Agriculture, 26(2), 383–393. https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.2.4301

УДК 631.372

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛІУРЕТАНОВОГО ФУТЕРУВАННЯ КУЗОВА ПРИЧЕПА ПІД ЧАС ЗАВАНТАЖЕННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

Тарасенко Д. С.
Полтавський державний аграрний університет

Забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності кузова причепа під час завантаження і транспортування цукрового буряку є актуальним науково-технічним завданням сучасного аграрного виробництва. Кузов причепа під час виконання технологічних операцій збирання буряка зазнає значних статичних і динамічних навантажень, зумовлених масою коренеплодів, їх переміщенням та ударною взаємодією з конструктивними елементами кузова.

Особливо інтенсивні навантаження виникають під час завантаження цукрового буряку, коли коренеплоди контактують із металевими поверхнями кузова та передають на них значні імпульсні навантаження [1]. Такий характер навантаження спричиняє локальні напруження, деформації та поступове накопичення втомних пошкоджень у конструктивних елементах кузова. У результаті знижується його експлуатаційна довговічність, підвищується інтенсивність зношування та виникає ризик передчасного руйнування окремих елементів конструкції.

Одночасно ударна взаємодія коренеплодів із поверхнями кузова негативно впливає на якість цукрового буряку. Механічні пошкодження коренеплодів під час технологічних операцій спричиняють зниження їх технологічної придатності та потенційно впливають на збереження якості сировини [2, 3]. Отже, характер взаємодії потоку коренеплодів із конструктивними елементами кузова визначає не лише рівень механічного навантаження на конструкцію, а й умови збереження якості продукції [4].

У зв’язку з цим об’єктом дослідження доцільно визначити кузов причепа для транспортування цукрового буряку, а предметом дослідження – процеси формування та передачі навантажень у його конструктивних елементах під час завантаження та транспортування коренеплодів. Дослідження напружено-деформованого стану кузова, характеру розподілу динамічних навантажень і закономірностей виникнення деформацій є необхідною передумовою для обґрунтування конструктивних параметрів та підвищення експлуатаційної надійності причепа.

Метою дослідження є підвищення довговічності та експлуатаційної надійності кузова причепа шляхом футерування його внутрішніх поверхонь полімерними матеріалами для зниження інтенсивності ударної взаємодії з коренеплодами.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких основних завдань: аналіз характеру та причин виникнення ударних навантажень на конструктивні елементи кузова причепа під час завантаження цукрового буряку; дослідження механізмів механічного пошкодження коренеплодів та деформації внутрішніх поверхонь кузова; обґрунтування вибору полімерного матеріалу для футерування з урахуванням його пружних, міцнісних, зносостійких та амортизаційних властивостей; проведення експериментальних досліджень впливу полімерного футерування на величину та характер ударних навантажень; оцінювання впливу амортизуючого покриття на напружено-деформований стан і експлуатаційний стан внутрішніх поверхонь кузова причепа.

Об’єктом дослідження є кузов бурякозбирального причепа вантажопідйомністю 8 т зі сталевими внутрішніми поверхнями. Для зниження інтенсивності ударної взаємодії коренеплодів із конструктивними елементами кузова як футерувальний матеріал застосовано листовий поліуретановий еластомер товщиною 15 та 30 мм. Полімерне футерування встановлювали на внутрішніх поверхнях днища та бортів кузова.

Експериментальні дослідження процесу завантаження коренеплодів цукрового буряку проводили методом вільного падіння з висоти 20–80 см. Зазначений діапазон висот відповідає характерним умовам ударної взаємодії коренеплодів із внутрішніми поверхнями кузова під час завантаження.

Для кількісної оцінки динамічної взаємодії коренеплодів із поверхнею кузова визначали пікові значення прискорення. Ступінь механічного пошкодження коренеплодів оцінювали за об'ємом пошкодженої тканини після ударної взаємодії. Експлуатаційний стан сталевих поверхонь кузова оцінювали за величиною залишкової деформації, сформованої після серії ударних навантажень.

Порівняльні експериментальні дослідження проводили для базової сталевої поверхні та поверхонь із поліуретановим футеруванням товщиною 15 і 30 мм. Такий підхід дає змогу встановити вплив товщини полімерного шару на інтенсивність ударних навантажень, рівень пошкодження коренеплодів та характер деформації внутрішніх поверхонь кузова.

Результати експериментальних досліджень показали ефективність полімерного футерування внутрішніх поверхонь кузова причепа як засобу зниження інтенсивності ударних навантажень під час завантаження коренеплодів цукрового буряку. Застосування поліуретанового еластомеру товщиною 15 мм забезпечило зниження пікових прискорень у 1,8–2,3 разів порівняно з нефутерованою сталевою поверхнею. Збільшення товщини футерування до 30 мм сприяло подальшому зниженню пікових прискорень у 3,0–3,5 разів.

Застосування полімерного футерування також суттєво вплинуло на ступінь механічного пошкодження коренеплодів. За товщини поліуретанового шару 15 мм об'єм пошкодженої тканини цукрового буряку зменшився у 3,1 разів, тоді як за товщини 30 мм відповідне зменшення становило 5,8 разів. Додатково встановлено зниження частоти пошкодження поверхневого шару коренеплодів, що свідчить про зменшення інтенсивності їх механічної взаємодії з внутрішніми поверхнями кузова.

Позитивний ефект футерування встановлено також щодо технічного стану кузова причепа. Після серії ударних навантажень залишкова деформація сталевої поверхні за наявності поліуретанового покриття зменшилася у 4–7 разів порівняно з нефутерованою поверхнею. За умов проведених експериментів на футерованих поверхнях не зафіксовано ознак пробою, тріщиноутворення або інших видимих пошкоджень металу. Натомість на нефутерованій сталевій поверхні виявлено локальні вм'ятини та порушення цілісності захисного покриття.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування поліуретанового футерування внутрішніх поверхонь кузова причепа для зниження динамічних навантажень, обмеження залишкових деформацій конструктивних елементів та зменшення механічного пошкодження коренеплодів під час завантаження. Зі збільшенням товщини полімерного шару

від 15 до 30 мм спостерігається підвищення амортизуючої здатності футерування та відповідне зменшення рівня ударної взаємодії.

Висновки. Таким чином, результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність застосування полімерного футерування внутрішніх поверхонь кузова причепа під час завантаження цукрового буряку. Застосування поліуретанового еластомеру товщиною 15 мм забезпечило зниження пікових ударних прискорень у 1,8–2,3 разів, об'єму пошкодженої тканини коренеплодів у 3,1 разів та залишкової деформації сталевої поверхні кузова у 4–7 разів. Збільшення товщини футерування до 30 мм сприяло зниженню пікових прискорень у 3,0–3,5 разів, об'єму пошкодженої тканини коренеплодів у 5,8 разів та залишкової деформації кузова у 4–7 разів порівняно з нефутерованою сталевою поверхнею.

За результатами випробувань, на футерованих поверхнях не виявлено пробоїв і тріщин металу, тоді як на нефутерованій поверхні зафіксовано локальні вм'ятини та пошкодження захисного покриття. Отримані результати свідчать про зниження інтенсивності динамічного навантаження на конструктивні елементи кузова та зменшення механічного пошкодження коренеплодів. Найбільший амортизуючий ефект за дослідженими параметрами забезпечило футерування поліуретановим еластомером товщиною 30 мм.

Список використаних джерел

1. Канівець О. В., Біловод О. І., Тарасенко Д. С., Канівець І. М. Оцінка ефективності футерування внутрішніх поверхонь кузова автомобіля для зниження пошкоджень картоплі під час завантаження. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2026. №2. С. 26-32. DOI: https://doi.org/10.32782/msnau.2026.2.5

2. Al-Dairi M., Pathare P., Opara U. Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation. Trends in Food Science & Technology. 2022. Vol.124. P.195–207.

3. Kołodziej P., Stropek Z., Gołacki K. Mechanical properties of sugar beet roots under impact loading conditions. Materials. 2023. Vol.16, No.3. Art.1281.

4. Beznosyuk R., Ryabchikov D., Borychev S., Rembalovich G., Kostenko M. Justification of parameters of vehicles with elastic partitions for transporting potatoes. E3S Web of Conferences. 2020. Vol.222. Art.03016.

УДК 621.787.4

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Телятник І. А.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Робочі органи ґрунтообробних машин працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, що спричиняє спрацювання різальних кромок, збільшення тягового опору та скорочення ресурсу деталей. Перспективним способом підвищення довговічності є поверхнево-пластичне деформування (ППД), яке дає змогу формувати зміцнений поверхневий шар без істотного термічного впливу на основу деталі. Гідроімпульсне навантаження забезпечує локальну ударну дію, сприяє подрібненню зерен, розвитку дислокацій та формуванню залишкових напружень стиску.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних гідроімпульсних системах застосовуються різні типи віброзбуджувачів, конструкція яких визначає можливості регулювання частоти, амплітуди та енергії удару [1-3]. Для технологічного зміцнення деталей доцільним є використання електрогідравлічного керування, що поєднує високі силові можливості гідропривода з програмованим формуванням імпульсного навантаження [4]. Експериментальні підходи до дослідження таких систем передбачають реєстрацію тиску, переміщення виконавчої ланки та оцінювання стійкості робочих режимів [5].

Механізм ППД пов’язаний зі збільшенням густини дислокацій, їх взаємним блокуванням, подрібненням зерен та формуванням орієнтованої структури поверхневого шару. При цьому теплова складова процесу повинна контролюватися, оскільки співвідношення механічних і теплових впливів визначає стан поверхні та глибину структурних змін [6].

Мета досліджень – встановлення раціональних параметрів гідроімпульсного поверхнево-пластичного деформування робочих органів ґрунтообробних машин та оцінювання впливу режимів ударного навантаження на твердість, деформаційне зміцнення і довговічність деталей.

Результати досліджень. Виробничі дослідження виконували на дослідному зразку преса з електрогідравлічним керуванням. Експериментально встановлено, що система забезпечує вібрації виконавчої ланки в діапазоні 1–60 Гц з амплітудою до 4 мм. За максимальної подачі гідронасоса найбільш придатним для реалізації імпульсного режиму є діапазон 20–35 Гц при амплітуді до 2 мм. За зменшення подачі частота може зростати приблизно до 50 Гц, однак амплітуда зменшується до 1 мм. Отримані закономірності узгоджуються з підходами до програмованого керування гідроімпульсними приводами.

Встановлено обмеження параметричного керування за сигналом тиску. Перехідні процеси у напірній гідролінії при відкритті електрогідравлічного клапана спричиняють швидке падіння тиску, а надходження робочої рідини з гідроакумулятора – його повторне зростання. Унаслідок цього сигнали керування можуть не відповідати фактичному положенню золотника, що потребує узгодження частоти керуючих сигналів, подачі насоса та динамічних властивостей гідросистеми.

Для дослідження зміцнення застосовували сферичні ударники діаметром 4, 6, 8 і 10 мм. За результатами аналізу зон деформування раціональним визначено ударник діаметром 10 мм, який забезпечує формування необхідної напружено-деформованої зони без надмірного поширення деформації. Вплив діаметра ударника, геометричних співвідношень та енергії удару на твердість поверхневого шару оцінювали за регресійними залежностями.

Механізм зміцнення при гідроімпульсному впливі має переважно деформаційну природу. У поверхневому шарі зростає густина дислокацій, відбувається їх блокування та подрібнення зерен. У наданому матеріалі встановлено, що при динамічній дії межа текучості сталі 50 може збільшуватися приблизно у 3 рази, а сталі 65Г – у 2,8 раза. Температура нагрівання в зоні ударної дії не перевищує приблизно 350 °С, тому ефект зміцнення переважно пов’язаний із пластичною деформацією, а не з термічним перетворенням структури.

Практичні випробування проводили на робочих органах ґрунтообробних машин. Для сталі 65Г, яка поєднує необхідні твердість, пружність і стійкість до абразивного спрацювання, дослідна партія культиваторних лап після ППД показала підвищення твердості на 37–46 %, а за характеристикою мікротвердості деформаційне зміцнення досягало 25–50 %. Під час експлуатаційних випробувань напрацювання робочих органів збільшувалося до 43 %. Це підтверджує ефективність гідроімпульсного ППД для підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробної техніки.

Висновки. Виробничими дослідженнями підтверджено можливість застосування преса з електрогідравлічним керуванням для ППД робочих органів ґрунтообробних машин. Раціональний режим імпульсного навантаження становить 20–35 Гц при амплітуді до 2 мм, а для локального зміцнення доцільним є сферичний ударник діаметром 10 мм. Гідроімпульсне ППД забезпечує структурно-деформаційні зміни поверхневого шару, підвищення твердості та збільшення експлуатаційного напрацювання деталей. Отримані результати підтверджують перспективність методу для культиваторних лап, лемешів та інших деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Список використаних джерел

1. Paladiychuk Y., Teliatnyk I., Kukharets S., Nishchakov I. Increasing the wear resistance of parts of soil tilling machines by the method of hydro-impulse surface plastic deformation. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2026. № 1 (132). С. 107–121. DOI: 10.37128/2520-6168-2026-1-11.

2. Телятник І. А. Дослідження поверхневої пластичної деформації при гідроімпульсному впливі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2023. № 1 (120). С. 110–119. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-13.

3. Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Типи і конструкції віброзбуджувачів сучасного машинобудування. Вібрації в техніці та технологіях. 2022. № 4 (107). С. 26–35. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-4-4.

4. Paladiychuk Y., Telyatnik I. Increasing the efficiency of choosing a hydraulic impulse drive with programmable control. Agricultural Engineering. 2023. Vol. 55. P. 30–43. DOI: 10.15544/ageng.2023.55.4.

5. Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Алгоритм експериментального дослідження гідроімпульсного пристрою для зміцнення деталей деформацією. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2023. № 4 (123). С. 31–42. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-4.

6. Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Дослідження теплового циклу на поверхні заготовки внаслідок пластичної деформації при механічній обробці. Вібрації в техніці та технологіях. 2023. № 2 (109). С. 72–84. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-9.

УДК 631.33

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ КАРТОПЛЕСАДЖАЛОК ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ ТРАКТОРІВ

Теслюк Г.В., Беліков М.Ю.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Механізація садіння картоплі на невеликих і середніх площах потребує машин, які можуть ефективно агрегатуватися з мотоблоками, мототракторами, мінітракторами та компактними тракторами. Картоплесаджалка повинна за один прохід послідовно утворити борозну, подати бульби з бункера, укласти їх на задану глибину, загорнути ґрунтом і сформувати гребінь. Для малопотужних енергетичних засобів особливого значення набувають невелика маса машини, простота конструкції, стабільність приводу висаджувального апарата та можливість регулювання основних параметрів садіння.

У малогабаритних картоплесаджалках найчастіше застосовують ланцюгово-чашечкові або елеваторні висаджувальні апарати, сошники, опорно-приводні колеса, ланцюгові передачі та дискові загортачі. Водночас конструктивне виконання машини визначає її продуктивність, вимоги до тягової потужності, зручність налаштування та можливість поєднання садіння з внесенням мінеральних добрив.

Аналіз останніх досліджень. Питання конструкції машин для садіння картоплі та організації технологічного процесу розглядаються у працях [1-6]. У

навчальній і науковій літературі наведено загальні підходи до будови садильних машин, аналізуються конструктивні рішення картоплесаджалок та особливості процесу висаджування бульб. Для умов малих фермерських господарств доцільним є порівняння саме однорядних і легких дворядних машин, оскільки вони краще узгоджуються з можливостями тракторів малої потужності.

Мета досліджень. Провести огляд і порівняння конструктивних схем картоплесаджалок для малопотужних тракторів, визначити особливості однорядних, однорядних із внесенням добрив та дворядних машин, а також узагальнити їх основні переваги, обмеження й перспективні напрями удосконалення.

Результати досліджень. Однорядні картоплесаджалки є найпростішими за конструкцією та найбільш придатними для роботи з малопотужними тракторами. Типова машина має бункер для садивного матеріалу, один висаджувальний апарат, сошник і комплект загортальних робочих органів. Під час руху агрегату опорно-приводне колесо через ланцюгову передачу приводить у дію висаджувальний механізм, а бульби захоплюються ложечками або чашечками, переміщуються до зони скидання і поштучно укладаються в борозну.



а



б



в

Рис. 1 - Конструктивні варіанти картоплесаджалок для малопотужних тракторів: а - однорядна; б - однорядна з бункером для мінеральних добрив; в - дворядна

Перевагами однорядної конструкції є невелика маса, проста будова, зручність обслуговування та можливість агрегатування з тракторами малої потужності. Для окремих моделей зазначають агрегатування з тракторами

потужністю близько 20 к. с., масу приблизно 130 кг і використання навіски категорії Cat 1N. Основним обмеженням є менша продуктивність порівняно з дворядними машинами, оскільки за один прохід висаджується лише один рядок.

Удосконаленим різновидом є однорядні картоплесаджалки з додатковим бункером для мінеральних добрив. Така схема дає змогу одночасно із садінням подавати добрива в зону рядка, тобто поєднувати дві технологічні операції за один прохід. Конструктивно машина включає раму, бункер для бульб, окремий бункер для добрив, дозувальний пристрій, сошник, насіннєпровід, опорно-приводне колесо та загортачі. У наведеній у вихідному матеріалі дослідній конструкції місткість бункера для бульб становила 55 кг, а бункера для добрив - 15 кг.

Дворядні картоплесаджалки забезпечують вищу продуктивність, оскільки за один прохід формують два рядки. Вони можуть мати два окремі бункери або один спільний бункер, два висаджувальні апарати, два сошники, два комплекти загортачів та привод від опорно-приводних коліс. Для машин, призначених для компактних тракторів, характерне регулювання міжряддя та кроку садіння. У розглянутих дворядних моделях міжряддя становить 62-65 см, відстань між бульбами може встановлюватися на 29, 32 або 35 см, а глибина садіння - 10-15 см.

Порівняння конструкцій показує, що вибір картоплесаджалки має здійснюватися з урахуванням потужності трактора, площі посадки та необхідної продуктивності. Однорядна машина є раціональною для невеликих площ і максимально простого агрегату. Дворядна конструкція доцільна там, де необхідно збільшити продуктивність без переходу до важких чотирирядних або шестирядних машин. Додатковий бункер для добрив розширює функціональні можливості машини та дозволяє скоротити кількість проходів агрегату по полю.

Під час удосконалення малогабаритних картоплесаджалок особливу увагу доцільно приділяти стабільності кроку садіння, відповідності ложечок або чашечок фракції бульб, регулюванню глибини ходу сошника та положення дискових загортачів. Сучасні конструкції розвиваються у напрямі точнішого дозування садивного матеріалу, поєднання садіння з локальним внесенням добрив, спрощення переналагодження та зменшення пошкодження бульб [4-6]. Для компактних агрегатів перспективними є модульні рішення зі змінними висаджувальними елементами та регульованими дисковими загортачами, тоді як механічний привод від опорно-приводного колеса зберігає перевагу завдяки простоті й автономності.

Висновки. Для малопотужних тракторів найбільш придатними є однорядні та легкі дворядні картоплесаджалки. Однорядні машини відзначаються простотою конструкції, невеликою масою та зручністю обслуговування, тоді як дворядні забезпечують вищу продуктивність, але потребують більшої тягової потужності й точнішого налаштування. Перспективними для подальшого удосконалення є конструкції з елеваторним висаджувальним апаратом, дисковими загортачами, регульованим кроком садіння та можливістю одночасного внесення добрив. Такі рішення спрямовані на підвищення якості

садіння, зменшення затрат праці та пристосування машин до умов малих фермерських господарств.

Список використаних джерел

1. Барановський В. М., Булгаков В. М., Гаврилюк Г. Р. Машини для садіння, догляду та збирання картоплі. Київ : Аграрна освіта, 2012. 184 с.

2. Погорілий Л. В., Гриньків А. Г. Аналіз машин для садіння картоплі // Техніка і технології АПК. 2017. № 3. С. 20-24.

3. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Надикто В. Т. Дослідження процесу висаджування картоплі // Вісник аграрної науки. 2019. № 4. С. 45-50.

4. GRIMME. Potato Technology. URL: https://www.grimme.com/ (дата звернення: 08.10.2026).

5. AVR. Potato planters. URL: https://www.avr.be/ (дата звернення: 08.10.2026).

6. BOMET. Potato planters. URL: https://www.bomet.pl/ (дата звернення: 08.10.2026).

УДК 631.171: 171. 51

ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ ВАЖКИХ ГРУНТІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Барановський В.М.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Теслюк В.В., Онищенко Б.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Досягнення агровимогів передпосівного обробітку ґрунту під цукрові буряки викликане і полягає у надзвичайній чутливості та вимогливості цієї культури до якості створення насіннєвого шару та вирівняної поверхні поля , що забезпечує точність сівби насіння, а в кінцевому результаті безпосередньо визначає одночасність польової схожості дрібного насіння та розвиток рослин.

Головними завданнями передпосівної операції є створення щільного насіннєвого ложа з пухким верхнім мульчуючим шаром. До того ж капіляри мають забезпечити вологу з глибини до насінин. Якщо провести обробіток надто глибоко, капілярний зв'язок розривається, ґрунт пересихає, а насіння «зависає» у сухому прошарку. Оптимальна глибина розпушування становить всього 2,5–4,0 см. [1].

Для забезпечення контакту насіння з ґрунтом частки розміром від 1 до 10 мм повинні становити не менше 90% обробленого шару. Оптимальна щільність ґрунту має бути в межах 1,0–1,2 г/см³.

Традиційний технологічний процес вирощування коренеплодів цукрових буряків включає послідовно виконувані операції обробки грунту, внесення добрив, весняної передпосівної обробки, сівби та догляду за посівами, які забезпечують необхідні умови для проростання насіння, росту і розвитку коренеплодів та накопичення в них цукру а також збирання урожаю [1, 2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відповідно до зональних технологій ранньовесняне розпушування грунту, або закриття вологи, проводять на глибину 2-3 см. Поле після зяблевої осінньої оранки і після зими, зазвичай, характеризується підвищеною невирівняністю та вологістю, особливо грунти важкі за механічним складом, тому одним із завдань є грунторозпушення виправлення ранньовесняної ситуації. Аналіз наукових джерел свідчить, що запізнення із закриттям вологи на один день призводить до непродуктивних втрат води в межах 60-120 т/га і зменшення врожайності на 0,6-1,2 т з гектара. Тому, для проведення ранньовесняного передпосівного обробітку грунту під висівання цукрових буряків, залежно від його стану, застосовують диференційовану систему агротехнологічних засобів та відповідний комплекс машин. Машинні агрегати комплектують робочими органами залежно від щільності грунту та його фізичного стану в цілому. Ранньовесняний обробіток таких грунтів проводять багаторазовими проходами агрегатів, що викликає додаткові затрати та переущільнення грунту.

Тому для ліквідації вказаних недоліків передпосівного обробітку грунту запропоновано та апробовано зональні прийоми і технології, які передбачають мінімалізацію ранньовесняного обробітку грунту, особливо важкого за механічним складом.

Мета дослідження: Підвищення ефективності вирощування цукрових буряків на грунтах важких за механічним складом.

Результати досліджень: Необхідність удосконалення зональних систем обробітку грунтів, особливо важких за механічним складом, визначається не тільки причинами економічного порядку - підвищенням продуктивності праці, зменшенням собівартості продукції, але й покращенням агрофізичних властивостей, гумусового балансу, збереженням родючості грунту, зменшенням втрат вологості і поживних речовин із грунту.

Лабораторно-польові дослідження запропонованої технології і порівняння з традиційною проводилися на Волинському обласному НВО "Еліта", яке відносяться до бурякосіючих районів України з достатнім зволоженням. В процесі проведення досліджень вивчено фізико-механічні властивості грунту; утворення ґрунтової кірки; рівномірність розподілення насіння по глибині заробки; забур'яненість посівів; урожайність цукрових буряків.

Суть її полягає в слідуючому: восени на фоні напівпарового або поліпшеного обробітку грунту на вирівненій поверхні поля культиватором (наприклад УКРП-5,4 або УСМК-5,4), обладнаним туковисівними апаратами, локально вносять мінеральні добрива, які розміщують по лінії майбутніх рядків на інтервалах заданої ширини міжрядь 45 см, в зоні найкращого розвитку

кореневої системи рослин на глибину 16-20 см з одночасним формуванням гребенів спеціальними робочими органами над стрічками внесених добрив.

Формування гребенів восени сприяє інтенсивному накопиченню вологи, а весною швидкому дозріванню грунту в зоні гребенів,що дозволяє в більш ранні строки проводити сівбу і збільшити вегетаційний період. Ранньою весною гребені зрізають до висоти 3-4 см відносно поверхні з одночасним стрічковим внесенням гербіцидів в зону рядка з наступним висівом насіння цукрових буряків.

В результаті проведених досліджень встановлено, що за умов більш ранніх строків сівби відмічено зниження ураження рослин цукрових буряків коренеїдом в 1,8 рази порівняно з традиційним, отримано достовірний приріст урожайності коренеплодів і збір цукру відповідно на 4,8 т/га і 0,7 т/га, в той же час виключення прийомів весняного боронування, шлейфування, глибокого обробітку, суцільного внесення гербіцидів, передпосівного обробітку зумовило зниження витрат праці в 1,5 рази, пального - в 2,5 рази, грошових витрат - в 1,9 рази.

Висновки. Результати вирощування цукрових буряків за запропонованою технологією свідчать про те, що розподіл поверхневого обробітку на осінній з утворенням гребенів і весняний період з їх зрізанням, дозволяє мінімізувати технологічні операції весняного передпосівного обробітку грунту, провести операції в більш ранній період а відповідно і сівбу цукрових буряків. Застосування розроблених технічних засобів забезпечувало досягнення оптимальної рівномірної глибини заробки і розподілу насіння, проведення сівби цукрових буряків в більш ранні строки, що призвело до збільшення вегетаційного періоду і підвищення продуктивності цукрових буряків.

Список використаних джерел

1. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: Підручник. К.: Аграрна освіта, 2011. 420 с. (Агротехнологічні особливості та вимоги цукрових буряків до умов вирощування).

2. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2014. 1040 с. (Детальний опис весняного комплексу робіт у буряківництві).

3. Балан В. М., Юркевич Є. О. Вплив способів передпосівного обробітку ґрунту на густоту насадження та продуктивність цукрових буряків. // Цукрові буряки. 2018. № 2. С. 14–17.

4. ДСТУ 4656:2006 Обробіток ґрунту передпосівний. Якість виконання робіт. Технічні вимоги та методи контролю. К.: Держспоживстандарт України, 2007.

5. Гречкосій В.Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник/ В.Д. Гречкосій, В.Д. Войтюк, Р.В. Шатров, І.І. Мельник, Я.М. Михайлович, В.Г. Опалко. Видавничий центр НУБіП України, 2011. 364 с.

УДК 631.879.4

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ АЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

Савченко В. М., Тисько Д. І.
Поліський національний університет

Раціональне використання побічної продукції сільського господарства є важливою складовою ресурсозберігаючих технологій аграрного виробництва. Значні обсяги соломи, стебел кукурудзи та соняшнику, відходів овочівництва, гною, посліду й інших органічних матеріалів можуть бути використані як сировина для виробництва органічних добрив. Одним із перспективних напрямів їх переробки є аеробна ферментація, яка для твердої органічної сировини реалізується переважно як керований процес компостування.

Ефективність аеробної ферментації залежить від температури, вологості, доступу кисню, співвідношення вуглецю й азоту, структури та розмірів частинок сировини. За даними FAO, процес потребує достатньої аерації, підтримання вологості переважно в межах 40–65 % та сприятливого співвідношення C. Для вихідної суміші оптимальним вважається співвідношення C близько 25:1–30:1, а активна термофільна фаза проходить переважно за температури 50–70 °C [1].

Тому інтенсифікація аеробної ферментації повинна передбачати застосування комплексу технічних засобів для підготовки, аерації, перемішування та контролю основних параметрів органічної маси.

На початковому етапі важливе значення мають технічні засоби підготовки сировини: подрібнювачі рослинних решток, дозувальні пристрої, змішувачі та навантажувально-транспортне обладнання. Подрібнення соломи, стебел та інших матеріалів збільшує площу контакту органічної речовини з мікроорганізмами. Водночас надмірне подрібнення зменшує пористість суміші та ускладнює проникнення повітря. Тому технологічна лінія повинна забезпечувати раціональне подрібнення і рівномірне змішування компонентів.

Одним із найбільш ефективних способів інтенсифікації процесу є примусова аерація. Для її забезпечення застосовують вентилятори або повітродувки, перфоровані повітропроводи, аераційні канали, решітчасті підлоги та регулювальні клапани. Примусова аерація дає змогу стабільно забезпечувати органічну масу киснем і відводити надлишкову теплоту. У системах аерованих статичних буртів використання вентиляторів може також зменшувати необхідність частого механічного перелопачування матеріалу [2].

Важливе значення має вибір режиму роботи аераційної системи. Надто низька подача повітря призводить до дефіциту кисню та виникнення анаеробних зон, тоді як надмірна аерація може спричинити переохолодження матеріалу, інтенсивне випаровування води та збільшення втрат азоту. У дослідженнях для різних видів органічної сировини розглядаються режими аерації приблизно 0,2–0,6 л/(кг органічної речовини·хв), однак оптимальна величина залежить від вологості, пористості, виду субстрату та стадії ферментації [3]. Тому

перспективним є регулювання продуктивності вентилятора відповідно до поточного стану органічної маси.

Не менш важливим засобом інтенсифікації є механічне перемішування органічної маси. У буртових технологіях застосовують причіпні, навісні та самохідні ворушителі компосту. Їх робочі органи руйнують ущільнені зони, переміщують матеріал, вирівнюють температуру та вологість і відновлюють пористу структуру суміші. Для невеликих господарств доцільним є використання агрегатів на базі універсальних енергетичних засобів, а для підприємств із великими обсягами органічної сировини – спеціалізованих самохідних ворушителів.

Для матеріалів із підвищеною вологістю та густиною доцільним є введення структуроутворювальних компонентів – подрібненої соломи, деревної тріски, стеблових залишків та інших пористих матеріалів. Вони збільшують частку вільного повітряного простору та сприяють рівномірнішому проходженню повітря крізь ферментовану масу. Застосування таких матеріалів у поєднанні з раціональною аерацією покращує фізичні властивості органічної суміші та умови її компостування [4].

Перспективним напрямом є застосування ферментаційних реакторів закритого типу. До них належать барабанні установки, контейнери, тунельні й камерні ферментатори, бункерні системи та реактори з механічним перемішуванням. Їх перевагою є можливість точнішого контролю параметрів незалежно від погодних умов. У барабанних установках поєднуються перемішування, транспортування та аерація сировини, що забезпечує інтенсивне проходження початкової стадії біоконверсії. Камерні й тунельні системи дозволяють реалізувати багатозонне керування аерацією, температурою та вологістю.

Сучасний розвиток технологій компостування характеризується переходом від традиційних статичних буртів до реакторних систем із високим рівнем механізації та автоматизації. Перспективними є конструкції, у яких режими роботи вентиляторів, змішувальних пристроїв і систем зволоження коригуються відповідно до фактичних параметрів процесу. Аналіз сучасних технологій свідчить про активне впровадження математичного моделювання та інтелектуальних систем керування у процеси переробки органічних відходів [5].

Важливою складовою таких установок є система контролю температури, вологості та газового складу. Найпростіший варіант передбачає використання температурних датчиків із керуванням вентилятором за заданими граничними значеннями. Більш досконалі системи містять датчики вологості, концентрації кисню, вуглекислого газу й аміаку, частотні перетворювачі приводів вентиляторів, програмований логічний контролер і виконавчі механізми системи зволоження. Це дає змогу формувати замкнений контур автоматичного регулювання технологічного процесу.

Особливо перспективним напрямом є створення «розумних» систем аеробної ферментації із застосуванням датчиків, технологій Internet of Things та алгоритмів обробки даних. Сучасні дослідження передбачають безперервний контроль температури, вологості, концентрації кисню та газових викидів із

подальшим автоматичним регулюванням аерації, перемішування і зволоження. Методи машинного навчання можуть застосовуватися також для прогнозування ступеня зрілості компосту та вибору оптимальних режимів роботи обладнання [6].

Таким чином, технічна система інтенсифікації аеробної ферментації органічної сировини повинна включати обладнання для подрібнення і змішування компонентів, пристрої механічного перемішування, системи примусової аерації й зволоження, датчики контролю технологічних параметрів та автоматизовану систему керування. Найбільший ефект може бути отриманий завдяки узгодженому керуванню всіма технологічними операціями залежно від поточного стану органічної маси.

Інтенсифікація аеробної ферментації побічних продуктів сільського господарства потребує комплексного удосконалення технічних засобів підготовки, аерації, перемішування та контролю органічної сировини. Найбільш перспективним напрямом є створення механізованих ферментаційних установок із регульованою примусовою аерацією та автоматичним контролем температури, вологості й концентрації кисню. Застосування частотно-регульованих приводів вентиляторів, датчиків і програмованих контролерів дозволяє адаптувати режим роботи обладнання до інтенсивності біологічних процесів, скоротити тривалість ферментації, зменшити енерговитрати та підвищити якість кінцевого продукту.

Список використаних джерел

1. Misra R. V., Roy R. N., Hiraoka H. On-farm composting methods. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. 35 p. (FAO Land and Water Discussion Paper ; No. 2).
2. Michel F., O'Neill T., Rynk R., Gilbert J., Smith M., Aber J., Keener H. Forced aeration composting, aerated static pile, and similar methods. The Composting Handbook / ed. by R. Rynk et al. Academic Press, 2022. P. 197–269. DOI: 10.1016/B978-0-323-85602-7.00007-8.
3. Policastro G., Cesaro A. Composting of Organic Solid Waste of Municipal Origin: The Role of Research in Enhancing Its Sustainability. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023. Vol. 20, No. 1. Art. 312. DOI: 10.3390/ijerph20010312.
4. Kovačić Đ., Lončarić Z., Jović J., Samac D., Popović B., Tišma M. Digestate Management and Processing Practices: A Review. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 18. Art. 9216. DOI: 10.3390/app12189216.
5. Zhou Y., Xiao R., Klammsteiner T., Kong X., Yan B., Mihai F.-C., Liu T., Zhang Z., Awasthi M. K. Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review. Bioresource Technology. 2022. Vol. 360. Art. 127591. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127591.
6. Liu B., Zhang K., Wei Y., Ding G., Xu T., Zhang L., Li J. Towards data-driven smart composting techniques and control systems. Bioresource Technology. 2026. Vol. 440. Art. 133514. DOI: 10.1016/j.biortech.2025.133514.

УДК 631.358.42

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТУ СПРАЦЮВАННЯ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Троханяк О. М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Ефективність і надійність функціонування машин і механізмів значною мірою залежать від правильного вибору їхніх компонувальних схем, розрахунку й обґрунтування раціональних і оптимальних конструкційних, кінематичних і динамічних параметрів, дотримання технології виготовлення та складання базових вузлів, відповідності умовам експлуатації, а також від забезпечення високоточного та надійного захисту робочих органів і приводів машин у разі виникнення перевантажень. Особливо це стосується сільськогосподарських та переробних машин, де ймовірність виникнення технологічних (унаслідок забивання робочих органів) і випадкових перевантажень є досить високою.

Гвинтові конвеєри отримали значне використання для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів у різних виробничих процесах. Проте під час транспортування таких сипких матеріалів можуть виникати заклинювання гвинтового робочого органу внаслідок наявності зазору між поверхнею обертання шнека та внутрішньою поверхнею кожуха конвеєра. Для відновлення працездатності конвеєра необхідно відвести в осьовому напрямку заклинене ребро шнека від контакту з матеріалом і в подальшому, після зняття перевантаження, елементи приводу мають забезпечити відновлення початкового положення робочого органу для подальшого транспортування матеріалу в зону вивантаження.

Реверсування заклиненого робочого органу виконують за відомим принципом, який здійснюється за допомогою планетарних запобіжних муфт, вони забезпечують зворотне провертання шнека від незначного кута повороту до декількох обертів із наступним відновленням його початкового положення. Також можливий спосіб осьового відведення заклиненого гвинтового робочого органу за допомогою кулькових запобіжних муфт із профільним виконанням лунок, як під час виходу із зачеплення, так і під час їхнього входження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень показав, що основними недоліками сучасних запобіжних муфт, які забезпечують реверсування перевантажених робочих органів, є їхня конструкційна та технологічна складність, велика матеріаломісткість, недостатня надійність [1–3]. Також вони мають значні габаритні розміри, а під час їхньої роботи виникають суттєві динамічні навантаження внаслідок дії сил інерції ведених ланок приводу та робочого органу з автоматичним відновленням його початкового положення [4–6]. Теоретичні дослідження запобіжних муфт переважно направлені на виведення залежностей, які описують вплив конструкційних, кінематичних і

динамічних параметрів на крутний момент, який передають муфти під час їхнього спрацювання [7, 8]. Основна частина експериментальних досліджень присвячена визначенню коефіцієнтів точності спрацювання муфт та їхніх ресурсних показників [9, 10].

У працях [11, 12] розглянуто роботу кулькової запобіжної муфти з профільним виконанням лунок, як при виході із зачеплення, так і при їх входженні та досліджено зміну крутного моменту при їх роботі. Встановлено, що хоча й даний запобіжний механізм суттєво знижує динамічне навантаження в процесі його спрацювання, але він має мале осьове переміщення веденої півмуфти із заклиненим робочим органом. Це обмежує застосування такої запобіжної муфти гвинтового конвеєра.

Тому актуальним є завдання розробки нових конструкцій та обґрунтування конструкційних і силових параметрів запобіжних муфт гвинтових конвеєрів для осьового відведення робочого органу в разі виникнення перевантаження та забезпечення відновлення його початкового положення.

Мета досліджень. Підвищення ефективності функціонування гвинтового конвеєра шляхом обґрунтування раціональних параметрів запобіжної муфти.

Результати досліджень. Для збільшення величини осьового переміщення веденої півмуфти із заклиненим робочим органом разом зі зниженням динамічних навантажень під час виникнення перевантаження розроблено конструкцію запобіжної муфти. З метою визначення моменту спрацювання муфти розроблено експериментальну установку дослідження роботи гвинтового конвеєра в екстремальних умовах експлуатації. Під час проведення багатофакторного експерименту для визначення моменту спрацювання T запобіжної муфти гвинтового конвеєра змінними факторами були кут нахилу робочого органу до горизонту α, частота обертання гвинтового робочого органу n та час зростання моменту опору To. За результатами експериментальних досліджень побудовано відповідні рівняння регресії, поверхні відгуку та їхні двовимірні перерізи для встановлення впливу на момент спрацювання запобіжної муфти керованих факторів в екстремальних умовах експлуатації. Отримане рівняння регресії може бути використане для визначення моменту спрацювання муфти під час транспортування гвинтовим конвеєром сипких та кускових сільськогосподарських матеріалів.

Висновки

1. На основі проведених експериментальних досліджень моменту спрацювання запобіжної муфти гвинтового конвеєра в екстремальних умовах експлуатації, встановлено, що найбільший вплив на величину T має частота обертання гвинтового робочого органу n. Далі за інтенсивністю впливу на момент спрацювання T є величина кута нахилу робочого органу до горизонту α і найменший вплив на величину T має час зростання моменту опору T_o.

2. З аналізу рівняння регресії встановлено, що зміна n в межах 50…250 об·хв–1 призводить до зростання T у 1,12 рази, зміна α у межах 0°…40° призводить до зменшення T у 1,05 рази і зміна T_o в межах 0,15…0,65 с призводить до падіння T у 1,04 рази.

Список використаних джерел

1. Hevko, R. B., & Klendiy, O. M. (2014). The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation. INMATEH – Agricultural engineering, 42 (1), 55–60.

2. Xiong, Q., Aramideh, S., Passalacqua, A. and Kong, S. C. (2015). Characterizing Effects of the Shape of Screw Conveyors in Gas–Solid Fluidized Beds Using Advanced Numerical Models. Journal of Heat Transfe, 137(6). doi:10.1115/1.4029864

3. Owen, P.J., Cleary, P.W. (2009). Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM). Powder Technology, 193(3), 274-288,. doi:10.1016/j.powtec.2009.03.012

4. Kováčová, M., Matus, M., Krizan, P., & Beniak, J. (2014). Design theory for the pressing chamber in the solid biofuel production process. Acta Polytechnica, 54 (1), 28–34. doi:10.14311/AP.2014.54.0028.

5. Ebubekir Can Güneş, İsmet Çelik. (2017). Use of disc springs in a pellet fuel machine. Czech Technical University in Prague, Acta Polytechnica, 57 (2), 89–96. doi:10.14311/AP.2017.57.0089.

6. Bulgakov, V., Trokhaniak, O., Adamchuk, V., Chernovol, M., Korenko, M., Dukulis, I., & Ivanovs, S. (2022). A study of dynamic loads of a flexible sectional screw conveyor. Acta Technologica Agriculturae, 25 (3), 131–136. doi:10.2478/ata-2022-0020.

7. Kretz, D., Callau-Monje, S., Hitschler, M., Hien, A., Raedle, M., Hesser J. (2016). Discrete element method (DEM) simulation and validation of a screw feeder system. Powder Technology, 287, 131-138. doi:10.1016/j.powtec.2015.09.038

8. Merritt, A. S., Mair, R. J. (2015). No Access Mechanics of tunnelling machine screw conveyors: model tests. Géotechnique, 56(9), 605-615. doi:10.1680/geot.2006.56.9.605

9. Paul, Ph. J., Cleary, W. (2010). Screw conveyor performance: comparison of discrete element modelling with laboratory experiments. Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal (PCFD), 10(5/6). doi:10.1504/PCFD.2010.035366

10. Manjula, E. V. P. J., Hiromi, W. K., Ratnayake, C., & Morten, C. M. (2017). A review of CFD modelling studies on pneumatic conveying and challenges in modelling offshore drill cuttings transport. Powder Technology, 305, 782–793. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.026.

11. Троханяк О. М. Результати досліджень зміни крутного моменту роботи запобіжної муфти. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, 2021, Vol. 12, No 1, 55-60.

12. Клендій О. М. Результати експериментальних досліджень з визначення зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти. Вісник ТНТУ. Тернопіль, 2015. Том 80. № 4. С. 148-156.

UDC 631.356.2

METHODOLOGY FOR CONDUCTING FIELD EXPERIMENTAL STUDIES OF A COMBINED CHICORY ROOT DIGGER

Olena Trukhanska, Maksym Hadaichuk
Vinnytsia National Agrarian University

Problem statement. Chicory is a product of the agro-industrial crop sector; specifically, chicory roots serve as an industrial crop for Ukraine's processing industry. However, the current process of harvesting chicory roots is characterized by significant root losses and damage, as well as unsatisfactory levels of both plant and soil impurities in the harvested roots [1, 2]. The failure to meet established quality standards or agrotechnical requirements for chicory root harvesting stems from the lack of effective working components capable of optimizing harvesting performance.

Developing and substantiating rational parameters for the working components of a combined digger – parameters that minimize chicory root losses – is key to improving the technical and operational performance of the harvesting process and enhancing the overall efficiency of chicory root processing.

Analysis of recent research. The operational efficiency of chicory root harvesting depends largely on the design and layout of the diggers and their performance quality; according to agrotechnical requirements [3], root losses and permissible damage must not exceed 2.5% and 15% respectively, while residual tops must not exceed 4%.

However, existing digger designs are insufficiently adapted to the significant variations in operating conditions encountered by root harvesters, failing to meet agrotechnical standards under extreme harvesting conditions: root losses increase by a factor of 1.5–2.0 due to the breakage of the underground (tail) section of the chicory roots, and root damage rises to 20–30% [4].

Existing research findings generally characterize only the broad operational aspects of digging components, without a focused analysis of ways to improve their efficiency.

Research objective. To develop a specific methodology for conducting laboratory experiments on the working components of a combined spherical single-disk chicory root digger.

Research results. To conduct field experiments on the chicory root digging process using the combined digger, a structural diagram of the experimental setup prototype was developed; this is shown in Fig. 1.

The main components of the experimental field unit for harvesting chicory root crops include a frame 1 (Fig. 1) on which the following are mounted: an electric motor 2 with a safety clutch 3, a single-shaft paddle cleaner 4 for top residues, a spherical disc 11, a loosening tool 12, support wheels 13, an Altivar 71 electric motor control unit 17, a laptop 18, and an autonomous power source 19. The electric motor, the Altivar 71 control unit 17, the laptop 18, and the autonomous power source 19 are

interconnected via communication links 20.

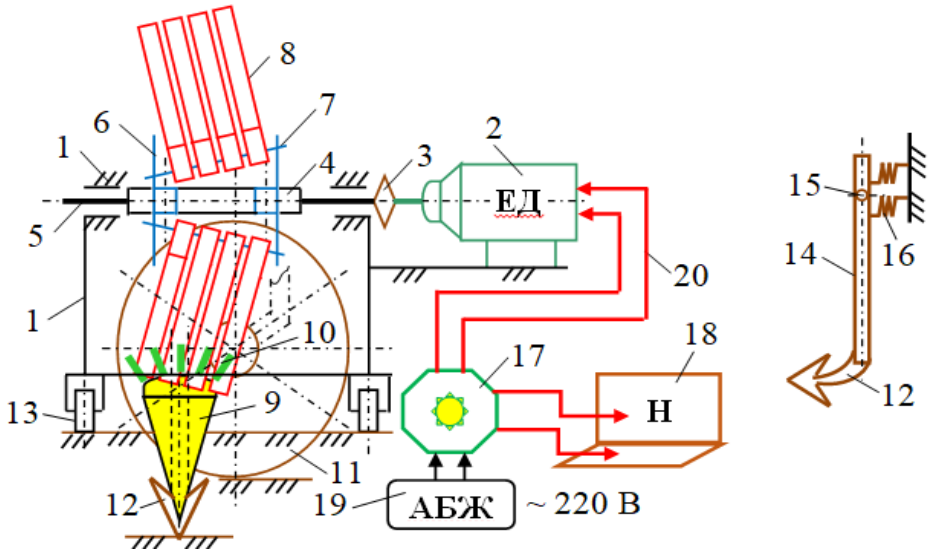


Fig. 1. Structural diagram of the field experimental setup for chicory root digging: 1 – frame; 2 – electric motor; 3 – safety clutch; 4 – single-shaft paddle cleaner; 5 – shaft; 6 – flange; 7 – axis; 8 – cleaning paddle; 9 – root crop; 10 – top residues; 11 – spherical disc; 12 – loosening tool; 13 – support wheel; 14 – upright; 15 – axis; 16 – spring; 17 – Altivar 71 electric motor control unit; 18 – laptop; 19 – autonomous power source; 20 – communication links

The digger consists of a spherical disc 11 mounted on the frame 1 at an angle to the axis of the root crop row 9; the disc is freely mounted on its axis of rotation. A loosening tool 12, designed as a sweep share, is mounted behind the disc; its operating depth corresponds to the depth at which the chicory roots are embedded in the soil.

The share's shank 14 is mounted on a vibrating elastic suspension. The digger is attached to the tractor's linkage system via a drawbar. A drive shaft 5 equipped with elastic cleaning blades 8 is positioned above the disc.

As the unit moves along the rows of root crops 9, the loosening tool 12 breaks the bonds between the roots and the surrounding soil; simultaneously, the cleaning blades 8 remove remaining tops from the root crowns, and the chicory roots are excavated by the spherical disc 11.

To regulate the rotational speed of the electric motor 2 and record optimization parameter values, the laboratory setup is equipped with an Altivar 71 multi-system control unit 17.

The field setup enables experiments to determine the functional variation of the following optimization parameters:

- the mass flow rate (per second) of the excavated soil layer entering the root harvester's cleaning components;

- energy consumption metrics for the chicory root excavation process using two spherical disc configurations – vertical (standard position) and angled relative to the vertical plane indicators of chicory root harvesting quality.

The methodology for conducting experimental research on the chicory root harvesting process is based on established principles for the design, execution, and

analysis of multifactorial experiments, as follows:

1. Define optimization parameters and input variables.

2. Based on the number of input factors, construct a design matrix for the multifactorial experiments.

3. Where necessary:

- randomize the design matrix using established methods (e.g., the random balance method or random number tables);

- employ asymmetric Box-Behnken designs to reduce the number of experimental runs.

4. Code the input factors and establish their variation levels.

5. Conduct experiments according to the sequence in the design matrix (or randomized matrix), determine the values of the optimization parameters, and record the results in a prepared table.

6. Process the experimental results using standard statistical methods:

- develop appropriate empirical functional relationships and verify model adequacy and the significance of the calculated coefficients.

7. Generate a graphical representation and analyze it.

8. Formulate conclusions based on the results of the experimental research.

Conclusion. The methodological aspects presented here regarding the field experimental testing of a combined chicory root harvester – utilizing the Altivar 71 multi-system control unit – describe the key stages and principles of mathematical planning and the study of the process for removing residual tops from chicory root crowns; these serve as the fundamental premises for conducting field research on the combined harvester as a whole.

References

1. Барановський В.М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. 2006. Том 11. № 2. С. 67–75.

2. В. Барановський, М. Підгурський, М. Паньків. Методологічні та конструктивно-технологічні аспекти розроблення адаптованих коренезбиральних машин. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2014. Том 74 (2). С. 106–113.

3. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник ; за ред. Д.Г. Войтюка // Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. К: Вища освіта, 2005. 464 с.

4. Baranovsky V. M., Skalsky O. J., Pankiv M. R., Pastushenko A. S. Chicory root crops combined harvester. INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53. No. 3. P. 41–50.

УДК 631.372:629.11.012.55

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ШИН ЗДВОЄНИХ КОЛІС НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Борак К.В., Герук С.М., Хоменко С.М.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Фролова О.М.
Поліський національний університет

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значними енергетичними витратами, істотну частину яких становлять витрати палива під час виконання механізованих технологічних операцій. Підвищення паливної економічності машинно-тракторних агрегатів є одним із важливих напрямів зниження собівартості сільськогосподарської продукції та підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку. Особливе значення при цьому мають параметри ходової системи трактора, які визначають характер його взаємодії з опорною поверхнею, величину буксування, тягове зусилля та втрати потужності.

Одним зі способів покращення тягово-зчіпних властивостей колісних тракторів є застосування здвоєних коліс. Збільшення площі контакту шин із ґрунтом сприяє зменшенню питомого тиску на нього, підвищенню прохідності агрегату та зниженню буксування ведучих коліс. Разом із тим ефективність застосування здвоєних коліс значною мірою залежить від типорозміру шин, їх конструкції, навантаження, внутрішнього тиску повітря та умов експлуатації [1–3].

Пневматична шина є одним із найважливіших елементів системи «трактор – ґрунт», через яку реалізується тягове зусилля трактора. Передача крутного моменту від ведучих коліс до ґрунту супроводжується деформацією шини та опорної поверхні, внаслідок чого виникають втрати енергії на кочення і буксування.

Ефективну тягову потужність тракторного агрегату можна представити залежністю

$$N_t = P_t \cdot v, \quad (1)$$

де N_t – тягова потужність, кВт; P_t – тягове зусилля трактора, кН; v – фактична швидкість руху агрегату, м/с.

Фактична швидкість руху ведучого колеса залежить від його буксування, яке визначається відношенням втрати поступальної швидкості до теоретичної швидкості руху:

$$\delta = (v_t - v) / v_t \cdot 100\ \%, \quad (2)$$

де δ – коефіцієнт буксування, %; v_t – теоретична швидкість руху, м/с; v – фактична швидкість руху, м/с.

Зі збільшенням буксування зменшується частка потужності двигуна, яка використовується на виконання корисної роботи. У результаті для обробітку тієї

самої площі збільшується тривалість роботи агрегату і, відповідно, загальна витрата палива.

Одним із параметрів, що суттєво впливає на характер контакту шини з ґрунтом, є внутрішній тиск повітря. Зменшення тиску в межах, допустимих виробником шини для відповідного навантаження, призводить до збільшення площі плями контакту. Навантаження при цьому розподіляється по більшій площі поверхні ґрунту, що сприяє зменшенню його деформації та покращенню тягово-зчіпних властивостей колеса.

За надмірно високого тиску повітря шина стає жорсткішою, площа її контакту з ґрунтом зменшується, а питомий тиск на поверхню збільшується. У польових умовах це може призвести до погіршення зчеплення, збільшення буксування та витрати палива. Дослідження впливу тиску в шинах сільськогосподарських тракторів підтверджують його зв'язок із тяговою ефективністю та паливною економічністю [3, 4].

Застосування здвоєних ведучих коліс додатково збільшує сумарну площу контакту рушіїв із ґрунтом. Це особливо важливо під час виконання енергоємних технологічних операцій – оранки, глибокого розпушування, дискування, культивації та роботи з широкозахватними агрегатами. За значного тягового навантаження одинарні колеса можуть характеризуватися підвищеним буксуванням, тоді як здвоєні колеса дозволяють ефективніше реалізувати потужність двигуна через ходову систему.

Однак саме по собі встановлення здвоєних коліс не гарантує мінімальної витрати палива. Необхідно забезпечувати правильне співвідношення навантаження та тиску повітря в основних і додаткових шинах. У рекомендаціях з експлуатації тракторів зі здвоєними колесами передбачено диференційований вибір тиску залежно від навантаження, швидкості руху й умов виконання технологічних операцій [5]. Тому визначення раціонального тиску має здійснюватися не за принципом максимального накачування шини, а відповідно до реального вертикального навантаження на вісь і характеру роботи агрегату.

Паливну економічність машинно-тракторного агрегату доцільно оцінювати питомою витратою палива на одиницю виконаної роботи:

$$g_h = G_h / W, \qquad (3)$$

де g_h – питома витрата палива, кг/га; G_h – годинна витрата палива, кг/год; W – продуктивність агрегату, га/год.

Отже, зменшення витрати палива може бути досягнуто не лише шляхом зниження годинної витрати двигуна, а й завдяки підвищенню робочої швидкості та продуктивності агрегату. Якщо оптимізація параметрів шин сприяє зменшенню буксування, трактор за однакової частоти обертання двигуна проходить більшу фактичну відстань за одиницю часу. Відповідно, збільшується змінна продуктивність і скорочуються витрати палива на гектар.

На паливну економічність також впливають ширина профілю шин, їх зовнішній діаметр, рисунок протектора та ступінь його зношення. Збільшення ширини шини та раціональний вибір рисунка протектора можуть підвищити здатність колеса передавати тягове зусилля на ґрунт. Водночас невідповідність

шин фактичному навантаженню або неправильний внутрішній тиск можуть нівелювати переваги здвоювання.

Для експериментальної оцінки впливу параметрів шин на паливну економічність тракторного агрегату доцільно проводити випробування за кількох значень внутрішнього тиску повітря, залишаючи незмінними основні технологічні параметри: склад агрегату, глибину обробітку, передачу, швидкісний режим двигуна та довжину дослідної ділянки. При цьому необхідно визначати фактичну швидкість руху, коефіцієнт буксування, годинну та погектарну витрату палива, продуктивність агрегату та, за можливості, тягове зусилля.

Очікуваний характер залежності паливної економічності від тиску повітря в шинах має екстремальний характер. Зменшення тиску від завищеного до раціонального значення сприяє покращенню контакту з ґрунтом і зниженню буксування. Однак надмірне зменшення тиску може призвести до надлишкової деформації каркаса шини, збільшення опору коченню, погіршення стабільності руху та скорочення ресурсу шини. Тому для кожного типорозміру шин, навантаження на вісь і виду технологічної операції існує певний раціональний діапазон внутрішнього тиску. Таким чином, основним завданням при експлуатації трактора зі здвоєними колесами є забезпечення такого поєднання тиску повітря, навантаження на колеса та режиму роботи, за якого мінімізуються втрати енергії на буксування й деформацію ґрунту та шин.

Список використаних джерел

1. Кучков В. В. Аналіз різних типорозмірів шин з точки зору підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора ХТЗ-17221. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2013. Вип. 135.

2. Harris B. J., Rethmel B. R. Comparison of IF and Standard Marked Metric Radial Ply Tires. ASABE Annual International Meeting. Louisville, Kentucky, 2011. Paper No. 1110804. DOI: 10.13031/2013.37315.

3. Gholkar M. D., Salokhe V. M., Keen A. P. The Effect of Axle Load and Tyre Inflation Pressure on the Tractive Performance of a Two Wheel Drive Tractor on Soft Clay Paddy Field. ASABE Annual International Meeting. Reno, Nevada, 2009. Paper No. 096606. DOI: 10.13031/2013.27193.

4. Udompetaikul V., Upadhyaya S. K., Vannucci B. The Effect of Tire Inflation Pressure on Fuel Consumption of an Agricultural Tractor on a Paved Road. ASABE Annual International Meeting. Reno, Nevada, 2009. Paper No. 095753. DOI: 10.13031/2013.26953.

5. BELARUS 2022.5 Tractor. Operator's Manual. Minsk Tractor Works. Розділ «Selection of tires internal pressure depending on operating conditions and load on the tractor axles».

6. Dohrman W., Glassman A., Lemberis C., Ratcliff W., Underwood C., Zajeski T., Owens T. G., Stwalley R. M. III. A Comprehensive Review of Tread Pattern Design and Tire Inflation in Off-Road Agricultural Applications. IntechOpen. 2026. DOI: 10.5772/intechopen.1015979.

УДК 631.372

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТОЗАЧЕПІВ ШИН АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ НА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВЗАЄМОДІЮ КОЛІСНОГО РУШІЯ З ГРУНТОМ

Чепіжний А. В.
Сумський національний аграрний університет,
Зубко В. М.
Полтавський державний аграрний університет

Підвищення тягово-зчіпних властивостей та показників енергоефективності машино-тракторних агрегатів є доволі актуальною проблемою сьогодення. Взаємодія рушіїв із агрофоном, що деформується супроводжується значними втратами потужності на буксування, ущільнення та непродуктивним руйнуванням ґрунту. Геометрія ґрунтозачепів (кут нахилу, крок та висота) безпосередньо визначає якість формування тягового імпульсу та здатність шини до самоочищення. Відповідно до цього обґрунтування оптимальних геометричних параметрів ґрунтозачепів шин для аграрної техніки є доволі актуальним питанням сьогодення. При цьому не менш актуальним питанням є розробка математичних моделей, що дозволяють проводити аналіз функціональних залежностей буксування від великої різноманітності конфігурацій параметрів шин аграрної техніки з подальшою їх інтеграцією в рівняння динаміки машинно-тракторних агрегатів.

Відповідно до проведеного аналізу літературних джерел нами виокремлено вплив на тягово-енергетичні властивості машинно-тракторного агрегату залежно від основних параметрів шини.

Першочерговий вплив на тягово-енергетичні властивості машинно-тракторного агрегату має кут розміщення ґрунтозачепа. Кут розміщення грунтозачепа, це кут між його поверхнею та радіальним напрямком шини, що має чітко виражений оптимум у межах 30-50°. Дане значення оптимуму відповідає значенню максимального тягового зусилля енергетичного засобу машинно-тракторного агрегату. При цьому перевищення значення більше 50° не дає приросту тяги, а отже є не ефективним для реалізації.

За умови високих значень буксування (більше 30 %) на вологих агрофонах збільшення кута призводить до зниження тягової характеристики машинно-тракторного агрегату. При значенні 75º буксування може досягати 100 %, що відповідає фактично повному ковзанню шини.

З точки зору механіки імпульсу, зростання кута розміщення ґрунтозачепа збільшує вертикальну складову сили на початку контакту, що спричиняє «розпушування» ґрунту замість горизонтального зсуву.

Виходячи з цього не менш важливим є оптимальний крок розміщення та кількість ґрунтозачепів. Занадто малий крок спричиняє «замилювання» (забивання) канавок вологим ґрунтом, через що шина втрачає здатність до зсуву ґрунту та в результаті сприяє буксуванню. Велике значення кроку викликає

переривчастість тягового імпульсу та хвильовий характер провалів в силі тяги енергетичного засобу машинно-тракторного агрегату.

З проведеного аналізу наукових праць встановлено, що оптимальна кількість ґрунтозачепів повинна становити 15-20 пар. При цьому, для вологих агрофонів найкращою комбінацією є кут розміщення ґрунтозачепа 30º за умови використання 15 пар ґрунтозачепів. При збільшенні кількості пар до 24, за такого ж кута розміщення ґрунтозачепа, спостерігається різке погіршення тяги спричинене налипанням ґрунту.

Не менш важливим параметром в питаннях впливу на тягово-зчіпні характеристики машинно-тракторного агрегату з агрофоном є висота ґрунтозачепу шини. Відповідно до проведеного аналізу встановлено, що збільшення висоти протектора збільшує площу зсуву ґрунтового масиву. Так, наприклад, спостерігається зростання сили тяги з 1,71 кН до 2,24 Н при зміні висоти з 31,7 мм до 87,3 мм на глинистому ґрунті при буксуванні, на рівні 20 %. Необхідно також зауважити, що за таких умов спостерігається зростання опору перекочування колеса колісного рушія, а також зростає вертикальний «від'ємний імпульс», що збільшує витрати енергії на деформацію та ущільнення ґрунту.

Відповідно до проведеного аналізу для подальших досліджень необхідно сформувати задачі, що пов’язані з вирішенням наступних питань:

- калібрування на ґрунтовому каналі або в реальних польових умовах коригувальних коефіцієнтів відповідно від кута, висоти, форми та співвідношення площ ґрунтозачепів шини енергетичного засобу машинно-тракторного агрегату;

- взаємний вплив параметрів ґрунтозачепів в існуючих математичних моделях з врахуванням можливої нелінійної залежності взаємодії колеса з агрофоном, що потребує окремого дослідження;

- врахування коефіцієнту самоочищення шини через додавання до математичної моделі відповідних коригувальних коефіцієнтів;

- врахування в якості поступової змінної величину зносу ґрунтозачупів, що впливає на зміну їх геометричних параметрів.

Виходячи з цього дослідження взаємодії шин аграрної техніки з агрофоном підтверджують наявність чітко вираженої екстремальної залежності тягово-енергетичних властивостей від геометричних параметрів протектора. Традиційне моделювання динаміки машино-тракторних агрегатів доволі часто використовує коефіцієнт буксування як усереднену константу або спрощену функцію лише нормального навантаження та типу агрофону.

Уточнення математичної моделі шляхом введення напівемпіричної залежності буксування від геометричних параметрів ґрунтозачепів дозволяє врахувати фізичні явища на межі контакту «шина – ґрунтозачеп – агрофон», що значно підвищить точність диференціальних рівнянь руху машинно-тракторного агрегату при проведенні аналізу основних показників його роботи. Це в основному такі показники як ККД, динамічні коливання та витрати палива в різних ґрунтово-кліматичних умовах. При цьому необхідною умовою є врахування основних факторів сучасних шин, що направлені на самоочищення та динаміку формування горизонтального імпульсу.

Список використаних джерел

1. Ally, H., Wang, X., Wu, T., Liu, T., & Ge, J. (2025). Numerical study of tire lug angle configurations to optimize traction on agricultural terrains. International Agricultural Engineering Journal, 30, 77–88. https://doi.org/10.5281/zenodo.17007771

2. Ali, O. S., & McKyes, E. (1978). Effect of lug position on soil thrust for lug models. Canadian Agricultural Engineering, 20(2), 119–126.

3. Salokhe, V. M., & Manzoor, S. (2002). PM–Power and Machinery: Tractive performance of cage wheels with opposing circumferential lugs. Journal of Agricultural Engineering Research, 81(4), 389–398

4. Wang, X., & Ito, N. (2023). Evaluation of traction characteristics of tractor tires on loose soils: Simulation and experimental research. Journal of Terramechanics, 109, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.06.001

5. Way, T. R., Bailey, A. C., Raper, R. L., & Burt, E. C. (1995). Tire lug height effect on soil stresses and bulk density. Transactions of the ASAE, 38(3), 669–674. https://doi.org/10.13031/2013.27879

УДК 631.365.22: 66.047

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ

Швидя В. О.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. В умовах сучасних економічних та виробничих викликів в Україні особливої актуальності набуває завдання раціонального використання матеріальних ресурсів, зокрема скорочення витрат металу під час виготовлення технологічного обладнання. Сушильні установки для сільськогосподарських матеріалів є металомісткими конструкціями, тому обґрунтування їх раціональних конструкційних параметрів може забезпечити зниження металоємності, вартості виготовлення та експлуатаційних витрат обладнання.

Для сушіння насінників трав, зеленої маси ефіроолійних культур та кормових трав, зерна з великою засміченістю застосовують сушарки з циліндричною сушильною камерою, що нахилена під кутом до горизонту та обертається навколо горизонтальної осі [1]. Геометричні розміри циліндричної сушильної камери визначають робочий об’єм, площу поверхні тепло- та масообміну, місткість матеріалу, умови руху теплоносія та, відповідно, тривалість і якість процесу сушіння. Збільшення розмірів камери може підвищувати її продуктивність, однак одночасно призводить до зростання кількості конструкційного матеріалу, площі тепловіддачі та габаритів обладнання. Надмірне зменшення розмірів, навпаки, може обмежувати

продуктивність і погіршувати умови перебігу процесу сушіння. Виникає проблема визначення такого співвідношення геометричних параметрів циліндричної сушильної камери, за якого забезпечується необхідний робочий об'єм і задана продуктивність процесу сушіння за мінімальної площі її поверхні та, відповідно, раціональній витраті металу, що актуально в умовах дефіциту металу.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні методи оптимізації зерносушарок ґрунтуються на аналізі енергетичних та ексергетичних показників, температури сушильного агента, його швидкості та початкової вологості матеріалу [2].

Важливим напрямом досліджень є оптимізація геометричних параметрів сушильних камер з урахуванням характеру руху матеріалу та сушильного агента. Показано, що геометрія робочої камери впливає на розподіл потоків, рівномірність температурного поля, гідравлічний опір та якість сушіння. Так, чисельне дослідження конструкцій гарячої камери зерносушарки із застосуванням CFD-моделювання дозволило оцінити вплив конструктивних змін на втрати тиску та рівномірність температурного розподілу [3].

Для сушильних камер барабанного типу досліджувався вплив діаметра камери та параметрів внутрішніх робочих елементів на процес переміщення й сушіння матеріалу. Зокрема, встановлено взаємозв'язок між діаметром сушильної камери, кількістю та геометрією внутрішніх елементів, частотою обертання і ступенем заповнення камери матеріалом. Це свідчить про необхідність комплексного врахування геометричних параметрів під час проектування сушильного обладнання [4].

Сучасні оглядові дослідження також свідчать, що оцінювання сушильного обладнання дедалі частіше проводиться за комплексом показників, до яких належать енергоефективність, питомі витрати енергії, втрати теплоти, ефективність сушіння та екологічні показники. Водночас, конструкційна оптимізація сушильного обладнання повинна враховувати не тільки енергетичні характеристики, а й матеріаломісткість конструкції.

Для циліндричної сушильної камери особливого значення набуває співвідношення її довжини та радіуса. За однакового робочого об'єму зміна цього співвідношення призводить до зміни площі поверхні камери, а отже, кількості конструкційного матеріалу, площі теплообміну та теплових втрат. Тому вибір геометричних розмірів лише за умовою забезпечення заданого об'єму не може вважатися достатнім.

Мета. Метою роботи є розроблення методики безсіткового DEM-моделювання руху окремої зернівки та потоку зерна у вібровідцентровому сепараторі для подальшого використання під час проведення числових експериментів.

Результати. Циліндрична сушильна камера з плоскими основами є раціональною формою сушильної камери. Вона проста у виготовленні та конструкційно краще розподіляє зовнішній тиск. Циліндрична форма сушильної камери раціональна відносно міцності, опору зовнішньому тиску та зменшення ваги.

Визначимо раціональні співвідношення розмірів циліндричної сушильної камери об'ємом V, що забезпечують міцність конструкції. Площа поверхні циліндричної поверхні сушильної камери:

$$S_{\text{цил}} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot L + 2 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2 \cdot V}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2, \quad (1)$$

де R — радіус сушильної камери, м;

L — довжина сушильної камери, м.

Приймемо формулу (1) як функцію площі поверхні циліндричної форми $S_{\text{цил}}$ від її радіусу R — $S_{\text{цил}}(R)$. Для того, щоб знайти за якого радіусу R забезпечується мінімальна площа бічної поверхні циліндричної форми за заданого об'єму V, візьмемо похідну по R та прирівняємо її до 0:

$$\frac{dS_{\text{цил}}}{dR} = 0 \Rightarrow -\frac{2 \cdot V}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R = 0. \quad (2)$$

Вирішуючи рівняння (2) відносно R, одержимо:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2 \cdot \pi}}. \quad (3)$$

Підставимо одержане значення в формулу для довжини циліндра за заданого об'єму V: $L = \frac{V}{\pi \cdot R^2}$, одержимо:

$$L = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}}. \quad (4)$$

Визначимо відношення $\frac{L}{R}$:

$$\frac{L}{R} = 2. \quad (5)$$

Значить, мінімальна кількість матеріалу, яка необхідна для сушильної камери об'ємом V забезпечується за співвідношення розмірів: $L = 2 \cdot R$.

Висновки. Циліндрична сушильна камера заданого об'єму з мінімальною кількістю матеріалу можлива лише за умови, коли її довжина вдвічі більша за її радіус. Результати даних досліджень можна використати при конструюванні барабанних сушарок, що зменшить металомісткість та собівартість конструкції.

Список використаних джерел

1. Забродоцька Л.Ю. Дослідження та вдосконалення процесу сушіння вороху насіння трав: Монографія / Л.Ю. Забродоцька, Р.В. Кірчук. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2013. – 164 с.

2. Aghbashlo M., Mobli H., Rafiee S., Madadlou A. (2013). A review on exergy analysis of drying processes and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 22. P. 1–22.

3. Lotte Strange Kjær, Mathias Poulsen, Kim Sørensen. (2018) Thomas Condra. Modelling of hot air chamber designs of a continuous flow grain dryer. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 21, Issue 5,. P. 1047-1055. DOI: 10.1016/j.jestch.2018.02.002.

4. Dmitry Portnikov, Gennady Ziskind, Haim Kalman. (2022). Experimental and computational study of a flighted rotary drum cross-sectional characteristics. *Powder Technology*. Vol. 403, DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117398.

УДК 631.333:631.8

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ ТА ВНЕСЕННЯ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Савченко В.М., Шепель О.В.
Поліський національний університет

Раціональне використання добрив є одним із важливих чинників забезпечення стабільної продуктивності сільськогосподарських культур та підтримання родючості ґрунтів. В умовах зростання вартості мінеральних добрив та необхідності підвищення екологічності аграрного виробництва перспективним напрямом є застосування органомінеральних добрив, які поєднують переваги органічної та мінеральної складових. Їх використання дає можливість одночасно поповнювати запаси органічної речовини ґрунту та забезпечувати рослини доступними елементами живлення.

Ефективність застосування органомінеральних добрив значною мірою залежить не лише від їх складу, а й від якості виконання технологічних операцій з підготовки, дозування, транспортування та розподілу по поверхні поля або внесення у ґрунт. Особливістю органомінеральних сумішей є неоднорідність їх фізико-механічних властивостей. Вони можуть характеризуватися різною вологістю, насипною щільністю, гранулометричним складом, сипкістю, схильністю до злежування та утворення грудок. Саме тому машини, розраховані виключно на роботу з гранульованими мінеральними добривами або традиційними органічними матеріалами, не завжди забезпечують необхідну точність дозування і рівномірність розподілу органомінеральної суміші [1].

Технологічний процес застосування органомінеральних добрив доцільно розглядати як сукупність взаємопов'язаних операцій: підготовка компонентів, дозування, змішування, за необхідності гранулювання, завантаження в транспортно-технологічні засоби, транспортування до поля та безпосереднє внесення. Для виконання цих операцій використовуються різні типи машин і обладнання [1–4].

До технічних засобів підготовки органомінеральних добрив належать подрібнювачі, просіювачі, дозатори, змішувачі, гранулятори, транспортні пристрої та навантажувальні машини. Подрібнювальне обладнання застосовується для руйнування грудок і забезпечення однорідніше гранулометричного складу матеріалу. Просіювання дає можливість відокремити великі включення, які можуть спричинити забивання дозувальних і розподільних механізмів.

Особливе значення має операція змішування органічних і мінеральних компонентів. Для цього можуть використовуватися барабанні, шнекові, лопатеві та інші типи змішувачів. До основних вимог, що ставляться до змішувального обладнання, належать забезпечення рівномірного розподілу компонентів у загальному об'ємі суміші, мінімальне пошкодження гранул, достатня продуктивність та невисока енергоємність технологічного процесу. При

виробництві гранульованих органомінеральних добрив додатково використовуються гранулятори та обладнання для сушіння і сортування отриманих гранул.

Для переміщення компонентів і готових сумішей використовують стрічкові, скребкові та шнекові транспортери. Вибір конкретного типу транспортного пристрою залежить від вологості, гранулометричного складу, кута природного укосу та схильності матеріалу до налипання. Під час роботи з органомінеральними сумішами конструкція транспортувальних і дозувальних пристроїв повинна мінімізувати можливість утворення склепінь у бункерах та зависання матеріалу.

Серед машин для поверхневого внесення сипких добрив найбільшого поширення набули розкидачі з відцентровими робочими органами. Їх основними складовими є бункер, дозувальний механізм і один або два горизонтально розташованих розкидальних диски з лопатками. Перевагами таких машин є порівняно проста конструкція, висока продуктивність і значна ширина захвату. Якість технологічного процесу залежить від частоти обертання дисків, конструкції і положення лопаток, місця подавання матеріалу на диск, висоти розташування розкидального пристрою над поверхнею поля, швидкості руху агрегату, а також фізико-механічних властивостей добрив [2, 3].

Водночас використання стандартних відцентрових розкидачів для органомінеральних сумішей має певні обмеження. Неоднорідність частинок за розмірами, щільністю та формою призводить до відмінностей у траєкторіях їх руху після сходження з диска. У результаті органічна і мінеральна складові суміші можуть розподілятися по ширині захвату нерівномірно. Підвищена вологість сприяє злежуванню матеріалу та погіршує стабільність його надходження до дозувального пристрою. Сучасні дослідження тому орієнтуються на створення спеціалізованих робочих органів для органомінеральних сумішей та адаптивних систем керування подачею матеріалу [4].

Для внесення органомінеральних добрив із підвищеним вмістом органічної складової можуть застосовуватися машини кузовного типу, конструктивно подібні до розкидачів твердих органічних добрив. Матеріал із кузова подається ланцюгово-планчастим або скребковим транспортером до розкидального пристрою. Як розподільні робочі органи використовуються горизонтальні або вертикальні ротори, барабани, бітери, а в сучасних конструкціях — дискові розкидальні системи. Перевагою таких машин є можливість роботи з матеріалом, що має значно більшу вологість і неоднорідність порівняно з гранульованими мінеральними добривами [1, 2].

Перспективним напрямом є застосування систем локального та внутрішньоґрунтового внесення органомінеральних добрив. У таких машинах використовуються бункери з дозувальними пристроями, транспортні канали та ґрунтообробні робочі органи, що забезпечують розміщення добрив на заданій глибині. Локальне внесення дозволяє концентрувати поживні речовини в зоні розвитку кореневої системи рослин і створює передумови для ефективнішого використання внесених добрив.

Оцінювання якості роботи машин для внесення добрив передбачає визначення стабільності норми внесення та рівномірності розподілу матеріалу. Міжнародний стандарт ISO 5690-1 регламентує методи випробування машин для суцільного розподілу твердих добрив, зокрема оцінювання поперечного розподілу та витрати матеріалу. Тому забезпечення стабільної подачі добрив до розкидального пристрою та мінімальної нерівномірності їх розподілу є ключовими критеріями технічної досконалості машин [5].

Проведений аналіз показує, що існуючі технічні засоби можуть бути використані для підготовки та внесення окремих типів органомінеральних добрив, однак універсальні машини не завжди враховують специфічні властивості таких матеріалів. Особливої уваги потребують параметри дозувальних і розкидальних пристроїв, оскільки зміна вологості, насипної щільності, розміру та форми частинок безпосередньо впливає на стабільність подачі та рівномірність розподілу матеріалу.

Таким чином, подальше вдосконалення технічних засобів підготовки та внесення органомінеральних добрив повинно бути спрямоване на адаптацію робочих органів до змінних фізико-механічних властивостей матеріалу, підвищення точності дозування та рівномірності розподілу, зниження енергоємності технологічного процесу.

Список використаних джерел

1. Машини і обладнання для приготування та внесення добрив : посібник / М. В. Присяжнюк, О. В. Сень, С. І. Мельник та ін. ; за ред. В. І. Кравчука. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. 152 с.
2. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.
3. Бакум М. В., Бобрусь І. С., Михайлов А. Д., Доценко М. Г., Вотченко О. С. Сільськогосподарські машини. Ч. 2. Машини для внесення добрив. Т. 2 : навч. посіб. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2008. 288 с.
4. Руткевич В., Кажуро М. Сучасні тенденції розвитку техніки для внесення сипучих органо-мінеральних добрив. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2025. № 4 (355). С. 531–537. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-355-74.
5. ISO 5690-1:1985. Equipment for distributing fertilizers — Test methods — Part 1: Full width fertilizer distributors. International Organization for Standardization, 1985.
6. ISO 5690-2:1984. Equipment for distributing fertilizers — Test methods — Part 2: Fertilizer distributors in lines. International Organization for Standardization, 1984.

СЕКЦІЯ «МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, РОБОЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА»

UDC 631.861:579.222.2

TECHNOLOGICAL AND AGRONOMIC ASPECTS OF THE PRODUCTION AND USE OF PELLETIZED POULTRY MANURE

Skliar R., Skliar O., Boltianskyi B.
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

Problem Statement. Poultry manure is a source of organic matter and plant nutrients, but its agricultural value is constrained by the difficulties of handling, storing, transporting, and applying a heterogeneous material with variable moisture content. Inadequate processing can increase nutrient losses and the environmental burden associated with manure accumulation. The choice of treatment must therefore reflect feedstock properties and the intended end use [1].

Pelletization converts prepared manure into a denser product with more uniform dimensions, facilitating mechanical application and distribution beyond the production site. However, physical densification alone does not establish agronomic effectiveness, hygienic safety, or economic viability. These outcomes depend on the relationship between feedstock preparation, drying, compaction, nutrient retention, and soil conditions. The scientific problem is to identify how these factors should be combined to justify the use of pelletized poultry manure as an organic fertilizer.

Analysis of Recent Research and Publications. Ukrainian research provides a technical basis for manure processing. S. Hryhorenko examined adaptive methods for treating poultry waste and classified drying processes according to heat transfer and the state of the material layer [2]. A. Komar investigated the kinematics of rollers in a flat-die pelletizer, establishing relationships between roller geometry, motion, and power requirements [3]. His subsequent review identified vacuum drying and pelletization as relevant approaches to producing concentrated fertilizers from manure and poultry litter [4]. These studies demonstrate the need to coordinate material preparation with equipment design.

The researchers subsequently proposed an integrated approach to the production of pelletized organo-mineral fertilizers, combining anaerobic treatment, biogas utilization, mineral supplementation, and heat recovery. [5]. This work extends the analysis from individual machines to the interaction between material and energy flows. It also distinguishes manure pellets from formulated organo-mineral products, whose nutrient ratios are deliberately adjusted to crop and soil requirements.

Aim of the Study. The aim of the study is to assess the technical and agronomic rationale for using pelletized poultry manure and to identify the conditions required for its effective production and application. The study uses comparative analysis of published Ukrainian and international research, functional examination of the processing sequence, and synthesis of evidence on pellet formation and nutrient

availability. The results constitute an analytical assessment of published findings and engineering relationships; experimental values are interpreted within the feedstocks, equipment, and cultivation conditions of the respective studies.

Research Results. The analysis identifies feedstock conditioning as the link between fertilizer composition and pellet quality. Poultry manure contains nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrients, together with organic matter. Drying increases their concentration per unit mass of product by removing water, while compaction increases bulk density. These operations improve handling, but they do not create additional nutrients. Consequently, the degree of concentration must be distinguished from nutrient retention during processing and subsequent availability to plants.

The production sequence comprises feedstock preparation, moisture adjustment, size reduction, conditioning, compaction, cooling, and packaging. Where manure is sufficiently wet, mechanical separation can precede thermal drying to reduce the water load entering the dryer. Bedding material or plant residues may be blended with manure to adjust its physical properties. Comminution and, where appropriate, steam conditioning promote more consistent feeding and pellet formation. An integrated line allows these operations to be coordinated, whereas a stand-alone pellet press requires feedstock that has already been prepared to meet its operating requirements [2, 4].

In a screw pelletizer, the screw conveys and compresses the material against the die; extrusion through the die holes establishes pellet diameter. Conical inlet sections facilitate entry, and a rotating knife controls the length of the extruded pellets. In roller-and-die presses, the rollers force material through a flat or ring die. Roller geometry and motion influence the loading of the material layer and the required drive power [3]. Therefore, machine selection should account for feedstock consistency, throughput, pellet durability, component wear, and maintenance rather than the nominal pressing principle alone.

Published experiments confirm that roller-and-die systems can process chicken manure. Dichoso and colleagues reported a maximum capacity of 165.12 kg per hour in their machine trials, but the resulting pellets contained 47.07–48.63% moisture, indicating a need for additional drying. Adamovics and colleagues used a different sequence: conditioning to approximately 25% moisture, pressing through 6 mm die holes, and further drying to a final moisture content of 8–10%.

Agronomic effectiveness also depends on processing and formulation. In a ryegrass pot experiment, found similar yield and phosphorus uptake with granulated, unamended broiler manure and superphosphate. These results demonstrate that different treatments of the same raw material can produce fertilizers with different nutrient-release characteristics. They do not establish a fixed phosphorus availability coefficient for all poultry manure pellets.

Nitrogen retention and release require separate consideration. Adamovics and colleagues found that drying conditions and additions of wheat straw or natural peat affected nutrient losses during pellet production. Hsieh and colleagues showed that pelletized poultry litter amended with coffee grounds or tea waste could improve nutrient availability and pak choi growth under the tested soil and application conditions. The response depended on formulation and dose, including treatments at twice the recommended nitrogen rate. Thus, total nutrient content, plant-available nutrient supply, and application rate must be evaluated separately when fertilizer

performance is assessed.

Product safety and storage performance depend on the complete treatment sequence. Hsieh and colleagues reported no detectable Escherichia coli in their prepared fertilizers after the processing and storage procedures used in that study. This result is specific to those products and conditions. Compaction, drying, or heat generated during pressing should therefore be assessed together with microbiological testing and final product moisture. Mechanical integrity, resistance to moisture uptake, and packaging conditions likewise determine whether pellets retain their handling properties during storage.

The technical rationale is strongest where the benefits of densification are matched by efficient preparation and reliable field application. Pellet size, durability, and flowability must be compatible with the intended spreading equipment. Processing costs include thermal drying, electricity, consumable components, and maintenance; savings arise from improved handling and transport and from the fertilizer value of retained nutrients. The integrated concept proposed by the researchers [5] indicates an opportunity to use biogas and recovered heat in this sequence. Its feasibility requires a site-specific material and energy balance, with processing performance evaluated together with nutrient recovery.

Conclusions. Pelletized poultry manure is a technically justified route for producing a fertilizer suitable for transport and mechanical application. Reliable production requires coordinated control of feedstock moisture, particle size, compaction, and final drying. Equipment performance should be evaluated together with pellet durability and nutrient retention.

References

1. Skliar, O. H., Skliar, R. V., & Voitov, V. A. (2019). Analysis of poultry waste processing technologies abroad. Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University, 19(4), 100–109. https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-100-109 [In Ukrainian].

2. Hryhorenko, S. M. (2021). Adaptive methods for processing poultry waste. Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University, 11(1), Article 18. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-18 [In Ukrainian].

3. Komar, A. S. (2021). Determination of the kinematic parameters of rollers in a flat-die pelletizer. Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University, 11(1), Article 13. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-13 [In Ukrainian].

4. Komar, A. S. (2022). Modern technologies for processing livestock manure and poultry litter into high-quality fertilizers. Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University, 12(3), Article 7. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-3-7

5. Skliar, O. H., & Skliar, R. V. (2025). New approaches to the production of pelletized organo-mineral fertilizers based on livestock waste. In Technical Progress in Animal Husbandry and Feed Production: Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference (pp. 182–185). Hlevakha–Kyiv. https://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/20367 [In Ukrainian].

УДК 631.363:633.2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ У Y-ПОДІБНОМУ ЗМІШУВАЧІ

Алієв Е. Б., Пономаренко Р. Г.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Ефективність виробництва повноцінних кормових сумішей значною мірою визначається рівномірністю розподілу окремих компонентів у всьому об’ємі готового продукту. Недостатня однорідність суміші може призводити до нерівномірного надходження поживних речовин до організму тварин, зниження ефективності використання корму та погіршення його технологічних властивостей. Тому вдосконалення конструкцій змішувального обладнання та встановлення раціональних режимів його роботи є актуальним завданням агроінженерії.

Процес змішування сипких кормових матеріалів характеризується складною взаємодією частинок, їх переміщенням, зіткненнями та можливим сегрегуванням за розмірами, густиною і формою. Це суттєво ускладнює теоретичне визначення раціональних конструктивно-режимних параметрів змішувачів. Одним із сучасних підходів до дослідження таких процесів є використання методу дискретних елементів у поєднанні з обчислювальною гідродинамікою (CFD–DEM), що дає змогу аналізувати рух окремих частинок і прогнозувати закономірності їх змішування [1–3]. Водночас чисельні результати потребують експериментальної перевірки на фізичній моделі, оскільки достовірність прогнозування залежить від адекватності прийнятих фізичних моделей, властивостей матеріалу та граничних умов.

Для Y-подібного змішувача кормових матеріалів така перевірка має особливе значення, оскільки характер руху матеріалу визначається не лише частотою обертання, а й геометрією гілок, їх довжиною, діаметром та кутом злиття.

Аналіз останніх досліджень. Методи DEM і CFD–DEM широко застосовуються для дослідження процесів переміщення, змішування та сегрегації сипких матеріалів. Показано, що геометрія робочої камери, властивості частинок, швидкість руху та тривалість процесу істотно впливають на кінцеву однорідність суміші [1, 2]. При цьому експериментальна верифікація є необхідною складовою використання чисельних моделей, оскільки вона дає змогу оцінити відповідність прогнозованої поведінки реальному процесу [4].

Дослідження процесів змішування гранульованих матеріалів підтверджують перспективність поєднання чисельного моделювання та фізичного експерименту. Зокрема, експериментальні дослідження можуть використовуватися для перевірки характеру руху частинок, оцінювання інтенсивності змішування та визначення коефіцієнта варіації складу суміші [4,

5]. Важливим напрямом сучасних досліджень є також оптимізація геометрії змішувального обладнання на основі результатів DEM/CFD–DEM моделювання.

Попередньою стадією проведених досліджень було виконано чисельне моделювання процесу змішування кормових преміксів у Y-подібному змішувачі з використанням CFD–DEM у середовищі Simcenter STAR-CCM+. Отримані результати дали змогу визначити характер переміщення частинок і сформувати передумови для вибору конструктивних та режимних параметрів експериментального стенду. Наступним завданням є експериментальна перевірка встановлених закономірностей у реальних умовах.

Метою роботи є експериментальна перевірка результатів чисельного моделювання та формування експериментальної бази для встановлення закономірностей процесу змішування кормових матеріалів у Y-подібному змішувачі, а також визначення впливу його конструктивних і режимних параметрів на якість готової суміші.

Результати досліджень. Дослідження виконували у дві взаємопов'язані стадії. На першій стадії проведено чисельне моделювання процесу змішування кормових матеріалів методом CFD–DEM. Друга стадія була спрямована на створення експериментальної бази, перевірку працездатності лабораторного обладнання та розроблення методики проведення фізичних експериментів.

Для реалізації другої стадії виготовлено лабораторний стенд Y-подібного змішувача кормових матеріалів. Конструкція стенду сформована з урахуванням принципової схеми змішувача та результатів попереднього чисельного моделювання. Основними елементами стенду є станина, Y-подібна ємність, сервоприводи, керовані заслінки, акселерометр, струмопровідне контактне кільце, блок живлення, контролер крокового двигуна, блок керування з дисплеєм, клавіатура та ємність для збору готової суміші.

Особливістю розробленої конструкції є модульне виконання Y-подібної ємності. Такий підхід забезпечує можливість зміни геометричних параметрів робочої зони без заміни базової конструкції стенду. Передбачено встановлення змінних патрубків різної довжини та діаметра, а також фітингів для формування різних кутів злиття гілок. Це створює можливість систематичного дослідження впливу геометричних параметрів на характер руху та ступінь змішування кормових компонентів.

Система завантаження і вивантаження обладнана керованими заслінками. Їх застосування забезпечує чітке розмежування технологічних операцій та запобігає неконтрольованому надходженню матеріалу до робочої камери або його передчасному вивантаженню. Завдяки цьому створюються стабільні та відтворювані початкові умови кожного експерименту.

Основними факторами дослідження визначено геометричні та режимні параметри Y-подібного змішувача: довжину гілок ємності, діаметр їх поперечного перерізу, кут злиття гілок, частоту обертання робочої ємності та тривалість змішування.

Як основний критерій ефективності процесу передбачено використання коефіцієнта однорідності кормової суміші. Його визначення здійснюватиметься за результатами відбору проб із декількох контрольних зон робочого об'єму.

Такий підхід дає змогу оцінити не лише середній склад суміші, а й просторову рівномірність розподілу компонентів. Подібна методика відповідає загальним підходам до експериментальної оцінки змішування гранульованих матеріалів, де однорідність та коефіцієнт варіації використовують як основні показники якості процесу [4, 5].

Висновки. Розроблено та виготовлено лабораторний стенд Y-подібного змішувача кормових матеріалів, конструкція якого враховує результати попереднього CFD–DEM моделювання та забезпечує можливість зміни основних геометричних параметрів робочої ємності. Модульна конструкція стенду дає змогу досліджувати вплив довжини та діаметра гілок, а також кута їх злиття на характер руху і якість змішування кормових матеріалів. Проведені пусконалагоджувальні та функціональні випробування підтвердили працездатність привода, системи керування, заслінок і вимірювального обладнання та готовність стенду до проведення експериментальних досліджень. Розроблено методику експериментальних досліджень, що передбачає варіювання конструктивних і режимних параметрів Y-подібного змішувача та оцінювання коефіцієнта однорідності суміші й енергетичних показників процесу.

Список використаних джерел

1. Bertrand, F., Leclaire, L.-A., & Levecque, G. (2005). DEM-based models for the mixing of granular materials. *Chemical Engineering Science, 60*(8–9), 2517–2531. https://doi.org/10.1016/j.ces.2004.11.048

2. Bridgwater, J. (2012). Mixing of powders and granular materials by mechanical means – A perspective. *Particuology, 10*(4), 397–427. https://doi.org/10.1016/j.partic.2012.06.002

3. Chen, J., Furuichi, M., & Nishiura, D. (2020). Discrete element simulation and validation of a mixing process of granular materials. *Materials, 13*(5), 1208. https://doi.org/10.3390/ma13051208

4. Алієв, Е., & Пономаренко, Р. (2026). Результати попередніх досліджень Y-подібного змішувача кормових матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 14*(45), 452–460. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).452-460

5. Zhu, H. P., Zhou, Z. Y., Yang, R. Y., & Yu, A. B. (2008). Discrete particle simulation of particulate systems: A review of major applications and findings. *Chemical Engineering Science, 63*(23), 5728–5770. https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.08.006

УДК 631.22:628.8:620.9

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ НА ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМАХ

Ачкевич О., Романченко В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Створення та підтримання оптимального мікроклімату в тваринницьких приміщеннях (корівниках, свинарниках) складає 40–90% від загального обсягу споживання енергії на фермах. Головними напрямами зменшення енерговитрат є підтримання теплоізоляції огороджувальних конструкцій та скорочення втрат тепла через вентиляційне повітря.

Найбільш ефективним рішенням є використання децентралізованих систем вентиляції з відділенням тепла з витяжного повітря та осушенням внутрішнього повітря. Це дозволяє зменшити нормативний повітрообмін у холодний період року без погіршення зоогігієнічних показників.

Розроблено та випробувано нову технологічну схему децентралізованої багатофункціональної системи виробника «Agrovent».

Основна деталь системи — теплообмінник з проміжним теплоносієм, який складається з охолоджувального та нагрівального блоків, з'єднаних трубопроводом із циркуляційним насосом і байпасним клапаном.

Витяжне повітря, проходячи через охолоджувальний блок теплообмінника, охолоджується нижче точки роси. Внаслідок цього випадає конденсат, а осушене та частково охолоджене повітря спрямовується на рециркуляцію або викидається назовні.

Самоочищення та захист від замерзання: утворений конденсат забезпечує ефект самоочищення теплообмінних поверхонь від пилу та бруду. Захист від замерзання здійснюється автоматично шляхом відкриття байпасного клапана при зниженні температури теплоносія до 2 °C.

Один модуль системи розрахований на обслуговування зони приміщення для 30–35 корів (глибина зони 10–12 м, ширина 20–25 м). Для типового корівника на 200 голів застосовується комплект із 6 модулів під єдиним автоматичним управлінням.

Дослідження модернізованої системи проходили на молочній фермі фермерського господаства «Україна» (смт Почуйки, Житомирська обл.). Вже через 1,5 години після включення системи відносна вологість повітря зменшилась з 83–92% до 72–75%. Концентрація вуглекислого газу (CO2) знижується з 0,25–0,3% до 0,11–0,18%. Вміст аміаку зменшився в 1,3–1,7 рази (до 8–10 мг/м³). ККД теплообмінника сягає 0,73–0,75. Корисна теплова потужність теплообмінника досягає 12,4 кВт на одну установку. Оптимальне

співвідношення потоків витяжного та припливного повітря становить 1,85–1,95. Загальна економія енергії на опалення та вентиляцію досягає 87%.

Виявлено, що реальні втрати тепла в корівниках значно перевищують розрахункові через інфільтрацію повітря через нещільності віконних отворів і воротах (втрати від інфільтрації становлять близько 20%, а не 10%, як прийнято вважати при проектуванні).

Модернізація системи виробника «Agrovent» забезпечує надійне підтримання оптимального мікроклімату в корівниках без використання додаткових джерел тепла при зовнішніх температурах до -24 °С.

Система повністю покриває річний дефіцит тепла в приміщенні за рахунок рекуперації, забезпечуючи високий рівень енергозбереження та швидку окупність.

Удосконалена модульна децентралізована система «Agrovent» рекомендована для широкого впровадження на молочних фермах, а після незначної модернізації — і на свинарських комплексах.

Список використаних джерел

1. S. Angrecka, P. Herbut, D. Godyń, and F. M. C. Vieira, “Dynamics of microclimate conditions in freestall barns during winter – A case study from Poland,” Journal of Ecological Engineering 21, 129–136 (2020). https://doi.org/10.12911/22998993/122235

3. P. Herbut, S. Angrecka, and J. Walczak, “Environmental parameters to assessing heat stress in dairy cattle – A review,” International Journal of Biometeorology 64, 2089–2102 (2020). https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9

4. N. Kiktev, T. Lendiel, V. Vasilenkov, O. Kapralyuk, T. Hutsol, S. Glowacki, M. Kuboń, and Z. Kowalczyk, “Automated microclimate regulation in agricultural facilities using the air curtain system,” Sensors 21, 8182 (2021). https://doi.org/10.3390/s21248182

5. A. Banakar, M. Jalali, B. Farzaneh, and M. Montazeri, “Reducing energy consumption in a poultry farm by designing and optimizing the solar heating/photovoltaic system,” Sustainability 15, 6059 (2023). https://doi.org/10.3390/su15076059

6. S. Lee, J. Park, and S. Hong, “Preliminary evaluation of an advanced ventilation-control algorithm to optimise microclimate in a commercial broiler house,” Animals 14, 3430 (2024). https://doi.org/10.3390/ani14233430

7. B. Dado-Senn, J. Van Os, J. Dorea, and J. Laporta, “Actively ventilating calf hutches using solar-powered fans: Effects on hutch microclimate and calf thermoregulation,” JDS Communications 5, 61–66 (2024). https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0390

УДК 331.45:636

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕК І ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ НА МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ У ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Войналович О.В., Хмельовський В.С.,
Єременко О.І., Мотрич М.М., Потапова С.Є.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Більшість з механізованих робіт у тваринницькій галузі сільського господарства не належать до робіт підвищеної небезпеки, однак для тваринників та механізаторів досить високим є ризик зазнати механічних та електричних травм, термічних опіків та отруєння [1, 2]. Для зниження професійного ризику недостатнім є аналіз причин виробничого травматизму і професійної захворюваності на робочих місцях, а потрібно порівнювати розраховані оцінки професійних ризиків на робочих місцях, щоб вибрати та знизити ті, що суттєво перевищують прийнятні (допустимі) значення.

Нині у різних галузях економіки України використовують різні методи оцінення професійного ризику, але для тваринницької галузі наведені у літературі оцінки здебільшого є якісними, а не кількісними, зокрема це стосується оцінення ризику на механізованих процесах у тваринництві.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел показує, що нині у більшості робіт, присвячених проблемі оцінення професійних ризиків, змінився методологічний підхід від обговорення питань щодо необхідності визначення професійного ризику до розроблення нових методів врахування впливу на працівників численних обставин небезпечних ситуацій [3]. Але, незважаючи на велику кількість розроблених алгоритмів оцінення ризику на виробництві, рекомендовані методики часто характеризуються істотними недоліками щодо їх практичного застосування (через трудомісткість, некоректність задавання початкових даних у розрахунках), також вони не враховують тривалості впливу небезпечних чинників на працівників.

Залишається невирішеною проблема суб’єктивності отриманих оцінок. Щоб уникнути цього, пропонують задіювати більшу кількість експертів, вибирати їх серед працівників з великим досвідом роботи, проводити відповідні навчання з методології оцінення професійних ризиків, що не завжди є прийнятним. То ж доцільно додатково використовувати статистичні методи та методи моделювання [4], що дозволять усунути з розгляду певні суперечливості щодо оцінення ступеню небезпек на робочих місцях.

Мета досліджень. Проаналізувати, оцінити та систематизувати небезпеки і професійні ризики на механізованих процесах у тваринництві.

Результати досліджень. Об’єктами дослідження було вибрано небезпеки і професійні ризики для таких механізованих процесів у тваринництві: а) очищання автонапувалок у приміщенні молочно-товарної ферми; б) прибирання гною у тваринницькій фермі скребковим транспортером; в) механізоване доїння

корів; г) роздавання кормів. Дослідження проводили на фермах тваринницького комплексу ВП «Агрономічна дослідна станція» НУБіП України.

Для виявлення і документального оформлення небезпек експертам (кваліфікованим фахівцям з механізації тваринництва) та працівникам ферм (інженерно-технічному персоналу та механізаторам) було запропоновано заповнити анкети, в яких було записано об'єкти спостереження з підкатегоріями. Було проаналізовано анкети 5 фахівців та 5 працівників тваринницької ферми.

Для дослідження професійних ризиків на механізованих процесах у тваринницьких приміщеннях використано метод експертних оцінок [4], який дозволяє визначити ймовірності настання небезпечних подій з врахуванням оцінок експертів у галузі.

Величину професійних ризиків R у балах визначали за формулою

$$R = P \times D \times V, \qquad (1)$$

де P – ймовірність виникнення небажаної події (травми, отруєння чи професійної хвороби); D – наслідок небажаної події; V – тривалість дії небезпек на працівників. Використовували 5-ти бальну градацію співмножників формули (1).

Виявлено, що найбільший ризик травмування буде у разі перебування працівника у небезпечній зоні біля тварин та через затягування одягу або кінцівок працівника у рухомі елементи транспортера у разі очищання скребків під час його руху і становить 36 балів. Дещо нижчими значення професійного ризику для під час роздавання кормів мобільним кормороздавачем та очищання автонапувалок. Для цих робіт найбільш небезпечним є травмування внаслідок наїжджання мобільного кормороздавача на працівника та його притискання через обмежену видимість для механізатора трактора у приміщенні ферми (27 балів) та ураження електричним струмом через пошкодження ізоляції, відсутності заземлення або потрапляння води на електричні контакти під час промивання автонапувалок (27 балів).

Загалом для усіх виявлених небезпек на механізованих процесах у приміщенні тваринницької ферми рівень професійного ризику можна охарактеризувати, як середній, тобто ризик не може бути прийнятним без впровадження захисних заходів. Розраховані рівні професійного ризику свідчать про те, що навіть за умови виконання чинних вимог нормативних документів щодо безпеки праці під час механізованих робіт у тваринницькій фермі, внаслідок дії чинників ймовірнісного характеру можуть виникати небезпечні ситуації травмування працівників. Це зумовлює потребу використання додаткових заходів безпеки.

Висновки.

1. У роботі проаналізовано ризики отруєння і травмування працівників під час механізованого обприскування і встановлено, що розраховані значення ризику відповідають середньому рівню.

2. За методикою експертного оцінення встановлено, що найбільші значення професійного ризику виникнення небезпечних ситуацій, що призводять до травмування працівників тваринництва, становлять 36 балів, а для інших

небезпек перебувають у межах 16-27 балів. Відповідно, ризик не можна вважати прийнятним без вживання додаткових захисних заходів.

3. Виконаний аналіз несприятливих виробничих чинників дозволяє обґрунтувати додаткові організаційні і технічні рішення безпеки для уникнення загрози здоров'ю працівників під час виконання механізованих процесів у тваринницькій фермі, що сприятиме створенню більш безпечного виробничого довкілля, запобігатиме формуванню травмонебезпечних ситуацій та отруєнням.

Список використаних джерел

1. Савченко, В.М., Цивенкова, Н.М., Савченко, Л.Г. (2017). Дослідження рівня професійного ризику, виробничого травматизму та профзахворюваності в галузі тваринництва України. *Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. Механіко-технологічні системи та комплекси*, 19 (1241). 151-156. http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/9443

2. Войналович, О.В., Гнатюк, О.А., Тимочко, В.О., Андрієнко, В.І. (2021). Дослідження професійних ризиків механізованих процесів у тваринництві. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агроінженерні дослідження»*, 25, 174-181. https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.174

3. Кружилко, О., Володченкова, Н., Токар, О., Майстренко, В. (2021). Удосконалення оцінки професійного ризику на основі експертних методів. *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(2), 3-8. https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-2.2021.3–8

4. Voinalovych Oleksandr, Tymochko Vasyl, Horodetskyy Ivan, Visyn Olena. Assessment of occupational risks of mechanized processes for chemical protection of plants. *25th International Scientific Conference «Engineering for rural development», Jelgava, Latvia,* 27-29.05.2026. 121-126. https://doi:10.22616/ERDev.2026.25.TF022

УДК 637.631.01

РЕКОНСТРУКЦІЇ МОЛОЧНО-ТОВАРНОЇ ФЕРМИ ЗА СПОСОБАМИ УТРИМАННЯ

Заболотько О. О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постанова проблеми. На сучасному етапі в Україні на ринку виробництва молока, близько 65–70% сільськогосподарських підприємств потребують суттєвої технічної та технологічної реконструкції.

У всьому світі молочну худобу утримують за допомогою різноманітних способів утримання і обслуговування. До них належать способи - на прив'язі (індивідуальні стійла) та в боксах (групові бокси). Молочній корові вдається

залишатися продуктивною за цих багатьох різних систем та способів, свідчить про її адаптивність до промислового виробництва молока.

В господарствах України для промислового утримання корів використовують два типи типових приміщень. До них відносяться приміщення на основі використанням залізобетонних конструкцій арочного типу, а також з застосуванням опорних конструкцій у середині приміщень для корів. Одне з ключових питань – це реконструкція цих приміщень з урахуванням сучасних технологій, продуктивності тварин, кормової складової та технічного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень. Сучасний розвиток молочного тваринництва України неможливий без впровадження сучасних технологій виробництва молока. Водночас практично на всіх існуючих фермах України використовуються технології, які закладені в типові проекти корівників 60–70 років, які не дають змоги впроваджувати високопродуктивну техніку, зокрема, комплекти машин для приготування та роздавання кормів, стійлового обладнання для високопродуктивних корів та засобів одержання продукції. При цьому затрати праці на виробництво 1 ц молока перевищують від 7 до 15 людгодин, що робить виробництво продукції низькорентабельною.

Об'ємно-планувальні вирішення існуючих корівників не забезпечують нормальних умов функціонування тварин, адже площа приміщення на одну корову в старих типових проектах зведена до мінімуму. Існуючі проектно-технологічні рішення корівників і технології виробництва молока, які закладені в них, вичерпали свої можливості.

В Україні налічується більше 15 тис. типових проектів корівників, для утримання корів на 100 та 200 голів на новій технологічній і технічній основі.

Проведені дослідження показали, що основною відмінністю між приміщеннями є їх ширина та конструктивна мережа розташування опор (колон), вхідні ворота, розміри стійла, кормові жолоби (висотою 0,5 м), що дуже важливо для проведення реконструкції і впровадження сучасних технологічних і технічних рішень.

Мета досліджень. Метою цього дослідження було провести аналіз цінової пропозиції з технічного переоснащення за прив'язним та безприв'язним способами утримання.

Результати досліджень. Дослідження проводилося на базі господарства ТОВ «Агрохолдінги Зоря», Рівненський р-н, Рівненська обл., село Зоря, яка є одне з провідних підприємств групи компаній «VITAGRO». У селі Зоря Рівненського району є ферма, на якій планується утримувати 400 корів дійного стада в одному приміщенні. Тваринницька ферма є результат реконструкції приміщень арочного типу («клюшечники») на території племгосподарства. У молочний комплекс спрямовано значні капіталовкладення. Паралельно з впровадженням тенденцій промислового тваринництва розвивається молочна ферма за прив'язним способом утримання, застосовуємо нові раціони, покращується технологія утримання та комфорту для тварин, основу поголів'я великої рогатої худоби складають порода - Джерсеї (Jersey).

Реконструкція корівника – складний процес, передбачає проектні роботи та їх уточнення, впровадження сучасних технології виробництва молока, утримання корів та їх комфорту, продукування молока та збереження здоров'я тварин і прибутковості виробництва.



За прив’язним способом утримання забезпечує виконання всіх механізованих процесів з виробництва молока та використанням сучасного обладнання:

- відповідність площі стійла на одну тварину відповідно до розмірів дорослої тварини з використанням гумових матів;
- за прив’язної технології утримання устаткування стійл з механічною прив’яззю;
- мікроклімат забезпечується за використанням випарного (адіабатичного) охолодження з автоматизованою системою контроля основних параметрів;
- водозабезпечення централізоване з використанням індивідуальних напувалок;
- годівля тварин кормосумішками з кормового столу та широке використання високопродуктивних кормових комбайнів;
- прибирання гною – скребковий транспортер;
- доїльні установки для доїння у молокопровід;
- доїльні апарати з попарним режимом роботи;
- централізована система промивки доїльної установки та апаратів;
- охолодження молока у проточному охолоднику та в молочних танках закритого типу.

Нами було проведено аналіз цін сучасного технологічного обладнання пов’язано з реконструкцією приміщення корівника, яке подано у таблиці.

Вартість одного скотомісця за прив’язним способом утримання, знаходиться в межах від 63,63 до 84,78 тис. грн. (1414 – 1884 дол.). Термін окупності затрат на реконструкцію становитиме 2,7–5,5 року, при підвищенні продуктивності корів від 8,5 до 8,7 тис. кг в рік.

Таблиця. Порівняння витрат на реконструкцію корівника з безприв'язним та прив'язним способом утримання дійного поголів'я (на 1 дійну корову у дол. $)

Витрати	Спосіб утримання	
	прив'язний	безприв'язний
Витрати на реконструкцію (приміщення)	780 - 924	1100 - 1200
Система мікроклімату	140 - 160	140 - 160
Стійлове обладнання/бокс	105-120	110-120
Гумові мати	90 - 150	90 - 150
Гноєприбирання	90 - 110	100 - 120
Доїльна установка «молокопровід» / доїльний зал – типу «Ялинка»	335 - 420	5000 - 5950

Отже, впровадження сучасних технологій виробництва молока на фермах України шляхом реконструкції існуючих корівників дасть змогу створити комфортні умови утримання тварин та значно підвищить їх продуктивність при зниженні затрат праці на виробництво одиниці продукції.

Список використаних джерел

1. Комфорт корови Герт Ян Геритц //Електронний ресурс / https://milkua.info /
2. Захаренко М. О., Поляковський В.М., Шевченко Л.В. та ін.. Система утримання тварин: навчальний посібник / М. О. Захаренко, В.М. Поляковський, Л.В. Шевченко та ін. – К.: ТОВ «Центр учбової літератури», 2015. – 424 с.

УДК 636:631.171

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ТЕХНОЛОГІЙ ТВАРИННИЦТВА У ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ

Калнагуз О.М., Сіренко Ю.В.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Підвищення ефективності тваринництва потребує зменшення трудомісткості виробничих операцій, раціонального використання кормів та енергії, а також оперативного контролю здоров'я і добробуту тварин. За традиційних технологій значна частина рішень ґрунтується на періодичних оглядах та ручному обліку. Сучасна модернізація спрямована на перехід від

механізації окремих операцій до цифрового управління взаємопов'язаними процесами.

Аналіз останніх досліджень. У праці Papakonstantinou та співавторів [1] узагальнено можливості технологій точного тваринництва (Precision Livestock Farming) щодо підвищення ефективності виробництва, поліпшення добробуту тварин і зменшення екологічного навантаження. Автори розглядають цифрові засоби спостереження як інструмент переходу від періодичного контролю до систематичного одержання даних про стан поголів'я. Водночас підкреслено проблеми перевірки надійності технологій у реальних умовах, нестабільного зв'язку, обмеженого ресурсу автономних пристроїв і несумісності обладнання з наявними приміщеннями. Для фермерських господарств ці висновки свідчать про необхідність оцінювання не тільки очікуваної продуктивності, а й готовності виробничої інфраструктури до цифровізації.

У дослідженні Antognoli та інш. [2] систематизовано застосування комп'ютерного зору на молочних фермах. Розглянуто відеоаналіз поведінки корів, ідентифікацію тварин, оцінювання вгодованості та виявлення ознак порушення рухливості. На відміну від традиційного візуального огляду, камери з алгоритмами аналізу зображень можуть забезпечувати повторювані безконтактні спостереження без постійної присутності працівника. Разом із тим результативність залежить від освітлення, розміщення камер, перекривання тварин у кадрі та якості алгоритмів. Отже, впровадження таких систем потребує адаптації до планування конкретної ферми та перевірки точності в її виробничих умовах.

Distante та інш. [3] виконали третинне дослідження, присвячене використанню штучного інтелекту в точному тваринництві. На основі узагальнення наявних оглядів визначено можливості машинного навчання для автоматизованого аналізу даних, безперервного моніторингу й підтримки рішень щодо утримання тварин. Наукова цінність роботи полягає у комплексному охопленні різних напрямів застосування інтелектуальних методів, а не окремої технологічної операції. Проте практичне використання таких рішень передбачає наявність достовірних даних, цифрової інфраструктури та фахівців, здатних інтерпретувати результати алгоритмів. Для невеликих господарств це обґрунтовує доцільність впровадження готових прикладних систем замість створення власних складних моделей.

Bhujel та інш. [4] дослідили інформаційну основу систем комп'ютерного зору для тваринництва. Автори проаналізували 67 відкритих наборів зображень і відеоданих із 65 публікацій, що охоплюють передусім велику рогату худобу, а також свиней і птицю. Встановлено, що дефіцит якісно розмічених даних із різноманітних умов утримання та нестача супровідної інформації стримують розроблення і перевірку інтелектуальних систем. Це важливе обмеження для перенесення закордонних програмних рішень на ферми з іншими породами, обладнанням і способами утримання: заявлену точність необхідно підтверджувати локальними випробуваннями.

Таким чином, аналіз відображає взаємопов'язані тенденції - поширення сенсорного моніторингу, комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Водночас вони засвідчують, що технологічна новизна сама по собі не гарантує економічної ефективності. Для практичного впровадження потрібні оцінювання вартості володіння, сумісності з існуючими технологічними лініями, якості даних і можливостей технічного обслуговування.

Мета дослідження - систематизувати сучасні напрями технологічного розвитку тваринництва, порівняти їх із традиційними рішеннями та визначити практичні передумови впровадження у фермерських господарствах.

Результати дослідження. Серед провідних тенденцій виділено роботизацію доїння, годівлі й очищення приміщень; застосування сенсорних систем та інтернету речей; використання комп'ютерного зору й алгоритмів машинного навчання; інтеграцію виробничих даних у цифрові платформи управління фермою. Порівняльну характеристику наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння традиційних та інноваційних технологій у тваринництві

Технологічний процес	Традиційне рішення	Інноваційне рішення	Переваги та умови застосування
Доїння	Доїльна зала, оператор	Роботизоване доїння, цифровий облік	Менше ручних операцій; значні інвестиції та вимоги до сервісу
Годівля	Ручна або механізована роздача	Автоматичне дозування, роботи-кормороздавачі	Точніший режим годівлі; потрібне налаштування раціонів
Здоров'я тварин	Періодичний огляд	Носимі датчики, аналітика активності	Безперервний моніторинг; потрібна перевірка сигналів
Контроль поголів'я	Ручне зважування й оцінка	3D-камери, комп'ютерний зір	Безконтактна оцінка; залежність від якості даних
Мікроклімат	Ручне керування вентиляцією	Датчики та автоматичне регулювання	Стабільніші параметри; потреба у надійному живленні
Управління	Журнали та окремі програми	Інтегровані цифрові платформи	Оперативна аналітика; необхідна сумісність систем

Аналіз таблиці показує, що перевага новітніх рішень полягає насамперед у безперервності збору інформації, точності повторюваних операцій та можливості швидше реагувати на відхилення. Проте автоматизація не усуває потреби в технологічному контролі: алгоритми можуть формувати помилкові сигнали, а роботизоване обладнання потребує регулярного технічного обслуговування [2-4].

Впровадження новітнього роботизованого та автоматизованого обладнання у тваринництві потребує значних початкових капіталовкладень, зокрема вартість одного роботизованого доїльного комплексу може становити 100–200 тис. євро, залежно від виробника, комплектації та умов монтажу. Орієнтовний термін окупності таких інвестицій становить 5-10 років. Реалії впровадження у фермерських господарствах визначаються масштабом поголів'я, плануванням приміщень, доступністю електроенергії та інтернету, наявністю сервісу, кваліфікацією персоналу й строком окупності інвестицій. Для малих і середніх ферм доцільно починати з електронного обліку, датчиків мікроклімату та контролю активності тварин. Наступним етапом може бути автоматизація дозування кормів і вентиляції, а комплексна роботизація потребує окремого техніко-економічного обґрунтування. Для українських господарств додатково важливі енергетична стійкість, ремонтопридатність і доступність запасних частин.

Висновки. Провідний напрям розвитку тваринництва полягає в інтеграції механізації, сенсорного моніторингу, роботизації та інтелектуального аналізу даних. Порівняно з традиційними рішеннями інноваційні технології створюють можливості для скорочення ручної праці, точнішого управління ресурсами й оперативнішого контролю стану тварин. Їх впровадження у фермерських господарствах має бути поетапним, із урахуванням реальних виробничих потреб, технічної готовності та економічної доцільності.

Список використаних джерел

1. Papakonstantinou G. I., Voulgarakis N., Terzidou G., Fotos L., Giamouri E., Papatsiros V. G. (2024) Precision Livestock Farming Technology: Applications and Challenges of Animal Welfare and Climate Change. Agriculture. 14 (4), 1-14 https://doi.org/10.3390/agriculture14040620

2. Antognoli V., Presutti L., Bovo M., Torreggiani D., Tassinari P. (2025) Computer Vision in Dairy Farm Management: A Literature Review of Current Applications and Future Perspectives. Animals. 15 (17).2508 https://doi.org/10.3390/ani15172508

3. Distante D., Albanello C., Zaffar H., Faralli S., Amalfitano D. (2025) Artificial Intelligence Applied to Precision Livestock Farming: A Tertiary Study. Smart Agricultural Technology. 11, 100889, 1-23 https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100889

4. Bhujel A., Wang Y., Lu Y., Morris D., Dangol M. A. (2025) Systematic Survey of Public Computer Vision Datasets for Precision Livestock Farming. Computers and Electronics in Agriculture. 229. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109718

УДК 631.22:697.97:621.1.016.4

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВО-ПОВІТРЯНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ У СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Ковязін О. С., Дереза С. В., Дереза О. О.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

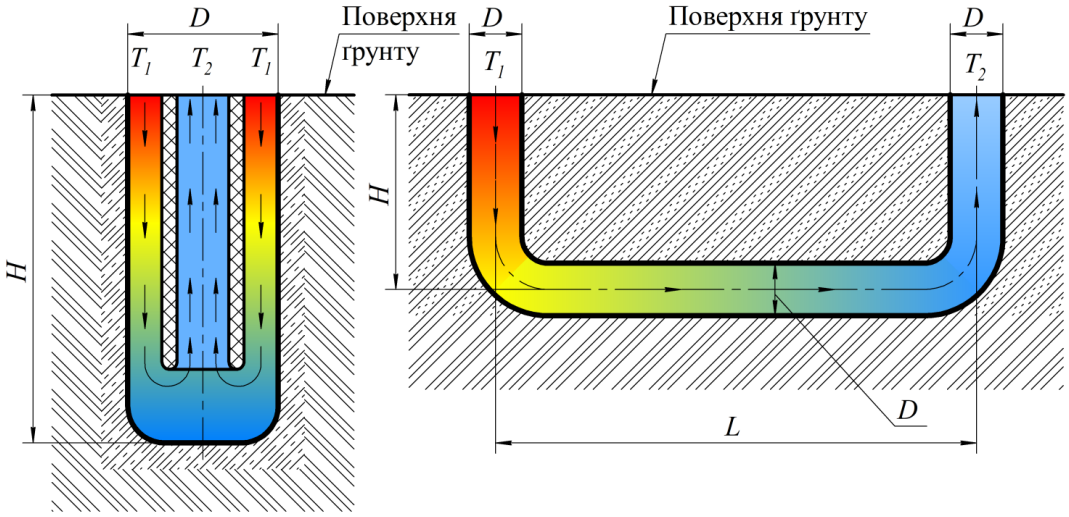
Постановка проблеми. Забезпечення нормативного мікроклімату у тваринницьких приміщеннях потребує значних енергетичних витрат на вентиляцію та температурну підготовку припливного повітря. Одним із шляхів їх зниження є використання ґрунтово-повітряних теплообмінників. Вертикальна та горизонтальна схеми мають різні теплові й аеродинамічні характеристики: вертикальний теплообмінник використовує температурно стабільніші шари ґрунту, тоді як горизонтальний характеризується меншим аеродинамічним опором, але його ефективність залежить від глибини закладання та загальної довжини повітряного тракту [1]. Тому актуальним є їх порівняльне оцінювання за тепловими та аеродинамічними показниками для систем вентиляції тваринницьких приміщень.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підтверджують перспективність ґрунтово-повітряних теплообмінників для попередньої температурної підготовки припливного повітря та визначальний вплив їх довжини, глибини розташування, теплофізичних властивостей ґрунту й режиму руху повітря на теплову ефективність [2]. Для горизонтальних ґрунтових теплообмінників збільшення довжини підвищує теплову продуктивність, але потребує більшої земельної площі та може знижувати економічну ефективність [3]. Порівняння вертикальних і горизонтальних схем підтверджує істотний вплив довжини теплообмінника й температурних умов ґрунту [4]. Практичну доцільність застосування ґрунтово-повітряних теплообмінників у тваринництві підтверджено для промислового пташника за допомогою чисельного моделювання, перевіреного натурними вимірюваннями [5].

Мета досліджень – виконати порівняльне оцінювання енергетичних показників вертикального коаксіального та горизонтального ґрунтово-повітряних теплообмінників для обґрунтування вибору їх просторової орієнтації як обладнання систем вентиляції тваринницьких приміщень.

Результати дослідження. Принцип роботи системи геотермальної вентиляції в режимі охолодження полягає в тому, що зовнішнє повітря з температурою T_1 подається до ґрунтово-повітряного теплообмінника, де внаслідок теплообміну з холоднішим ґрунтовим масивом передає йому частину теплоти та охолоджується до температури T_2 (рис. 1). Після проходження теплообмінника охолоджене повітря подається до тваринницького приміщення.

Порівняльне оцінювання виконано за результатами раніше проведеного чисельного дослідження [1]. Ефективна теплова енергія визначалася з урахуванням корисного теплового ефекту та енерговитрат на переміщення повітря. Для вертикальної схеми $H = 30$ м визначала глибину свердловини та довжину теплообмінника. Для горизонтальної схеми $H = 1$, 2 і 3 м визначала глибину розташування горизонтальної ділянки довжиною $L = 30$ м. Відповідно, загальна довжина повітряного тракту горизонтального теплообмінника становила орієнтовно 32, 34 та 36 м. Отже, зі збільшенням глибини розташування горизонтальної ділянки одночасно змінювалися температурні умови теплообміну з ґрунтом і загальна довжина теплообмінного тракту.



а б

Рис. 1. Схеми руху повітря та просторова орієнтація ґрунтово-повітряних теплообмінників: а – вертикальний коаксіальний; б – горизонтальний

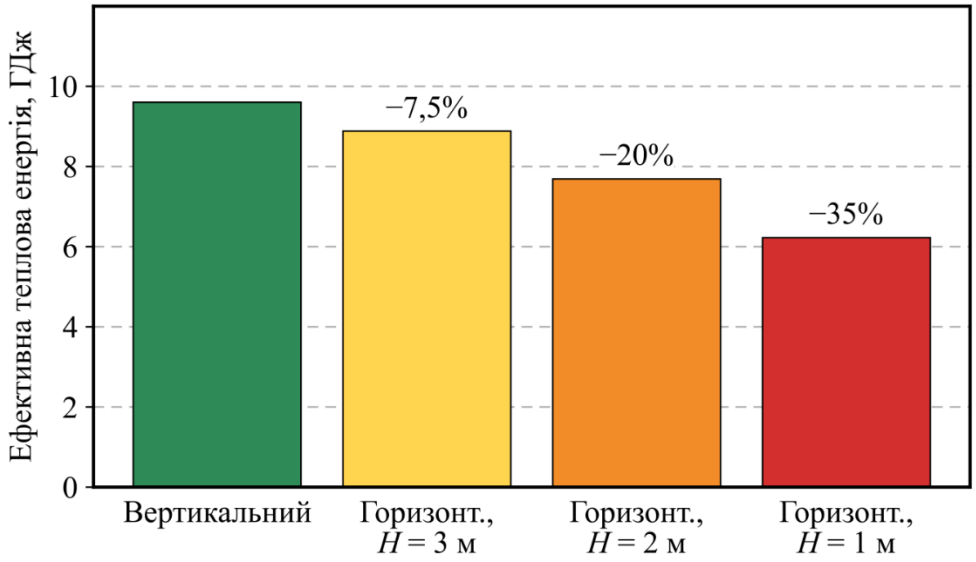


Рис. 2. Ефективна теплова енергія вертикального та горизонтального ґрунтово-повітряних теплообмінників за тривалості функціонування $t = 10^7$ с

Результати порівняльного оцінювання ефективної теплової енергії досліджуваних схем за тривалості функціонування $t = 10^7$ с наведено на рис. 2. Найбільше її значення отримано для вертикального ґрунтово-повітряного теплообмінника – 9,60 ГДж. Для горизонтальної схеми зі збільшенням глибини розташування горизонтальної ділянки від 1 до 3 м ефективна теплова енергія зростала від 6,22 до 8,88 ГДж та наближалася до показника вертикального теплообмінника [1]. Відносне зниження ефективної теплової енергії горизонтальної схеми порівняно з вертикальною становило 35 % за $H = 1$ м, 20 % за $H = 2$ м та лише 7,5 % за $H = 3$ м.

Зростання ефективної теплової енергії горизонтального теплообмінника зумовлене сукупним впливом зменшення сезонних коливань температури ґрунту з глибиною та збільшення загальної довжини повітряного тракту приблизно від 32 до 36 м, що інтенсифікує теплообмін.

Висновки.

За досліджених умов найбільшу ефективну теплову енергію забезпечив вертикальний ґрунтово-повітряний теплообмінник – 9,60 ГДж. Для горизонтальної схеми збільшення H від 1 до 3 м, яке супроводжувалося збільшенням довжини повітряного тракту, сприяло зростанню цього показника від 6,22 до 8,88 ГДж та скороченню відставання від вертикальної схеми з 35 до 7,5 %. Результати доцільно враховувати під час вибору просторової орієнтації ґрунтово-повітряного теплообмінника у системах вентиляції тваринницьких приміщень.

Список використаних джерел

1. Koviazin, O., Pozhuyev, A., Mikhailutsa, O., Poliakova, N., & Melikhova, T. (2019). Research ways to increase the energy efficiency of ground heat exchangers by means of mathematical simulation. In A. Raupelienė (Ed.), *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development 2019* (pp. 155–161). Vytautas Magnus University. https://doi.org/10.15544/RD.2019.019

2. Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Halkos, G., Paravantis, J., Makridis, S., & Papaefthimiou, S. (2022). Applications of earth-to-air heat exchangers: A holistic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 155*, 111921. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111921

3. Shi, Y., Cui, Q., Song, X., Xu, F., & Song, G. (2022). Study on thermal performances of a horizontal ground heat exchanger geothermal system with different configurations and arrangements. *Renewable Energy, 193*, 448–463. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.024

4. Cui, Q., Shi, Y., Zhang, Y., Wu, R., & Jiao, Y. (2023). Comparative study on the thermal performance and economic efficiency of vertical and horizontal ground heat exchangers. *Advances in Geo-Energy Research, 7*(1), 7–19. https://doi.org/10.46690/ager.2023.01.02

5. Boutera, Y., Boultif, N., Moummi, N., Arıcı, M., Saleh, M. S. M., Rouag, A., Kethiri, M. A., & Beldjani, C. (2024). Evaluation of the earth-air heat exchanger's performance in improving the indoor conditions of an industrial poultry house using computational fluid dynamics verified with field tests. *Journal of Cleaner Production, 434*, 140218. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140218

УДК 631.363

ВПЛИВ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОДАЧІ СИРОВИНИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЕКСТРУДЕРА

Куликівський В.Л.
Поліський національний університет,
Хоменко С.М.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Екструзійна переробка рослинної сировини є перспективним напрямом підвищення ефективності виробництва кормових і харчових продуктів. Поєднання механічного, теплового та баричного впливу забезпечує інтенсивне перетворення структури сировини за порівняно короткий проміжок часу. Особливий інтерес становить застосування термовакуумної екструзії, за якої поряд із механічною та температурною дією використовується знижений тиск. Це створює передумови для інтенсифікації видалення вологи, зниження температури випаровування води та формування необхідних фізико-механічних властивостей готового продукту.

Ефективність функціонування термовакуумного екструдера визначається комплексом конструктивних і технологічних параметрів, серед яких важливе місце займають частота обертання шнека, температура робочої камери, рівень вакууму, вологість і гранулометричний склад сировини, а також продуктивність її подачі. Останній показник безпосередньо впливає на ступінь заповнення робочої камери, тривалість перебування матеріалу в зоні обробки, величину крутного моменту, тиск перед матрицею та питомі енергетичні витрати [1–3].

Метою дослідження є встановлення закономірностей впливу продуктивності подачі рослинної сировини на основні технологічні та енергетичні показники роботи термовакуумного екструдера.

Продуктивність подачі сировини Q, кг/год, характеризує масу матеріалу, яка надходить у робочу камеру екструдера за одиницю часу. За незмінної геометрії робочих органів і сталої частоти обертання шнека зміна цього параметра спричиняє зміну коефіцієнта заповнення міжвиткового простору. При малій подачі робоча камера заповнюється недостатньо, внаслідок чого зменшується продуктивність машини та зростає тривалість перебування окремих частинок матеріалу в зоні термомеханічної обробки. При цьому частка механічної енергії, що припадає на одиницю маси продукту, може зростати.

Одним із найбільш інформативних критеріїв оцінювання процесу екструдування є питома механічна енергія (SME), яка в узагальненому вигляді може бути визначена як $SME = P_м / Q$, де $P_м$ – механічна потужність, що передається сировині, кВт; Q – масова продуктивність екструдера, кг/с.

Із наведеної залежності випливає, що за інших однакових умов збільшення масової продуктивності може призводити до зниження питомої механічної

енергії, яка припадає на одиницю маси обробленої сировини. Експериментальні дослідження одношнекової екструзії також свідчать про суттєвий зв'язок між співвідношенням продуктивності подачі та частоти обертання шнека, крутним моментом і питомою механічною енергією [1].

Збільшення подачі сировини сприяє більш повному заповненню робочої камери та підвищенню опору переміщенню матеріалу. У результаті зростає навантаження на шнек і привод екструдера, змінюються крутний момент та тиск перед формувальною матрицею. До певної межі це позитивно впливає на використання встановленої потужності обладнання та забезпечує зростання його годинної продуктивності. Водночас надмірна подача матеріалу може призводити до перевантаження приводу, нестабільності переміщення сировини та погіршення рівномірності її термічної обробки.

Продуктивність подачі впливає також на час перебування матеріалу в екструдері. За меншої подачі сировина, як правило, перебуває у робочій камері довше, що збільшує тривалість теплового та механічного впливу. Зі збільшенням масової витрати тривалість перебування матеріалу може зменшуватися. У наукових дослідженнях зазначається, що зміна подачі впливає не тільки на час перебування сировини, але й на тиск у матриці, в'язкість матеріалу та інтенсивність теплопередачі [2].

Для термовакуумного екструдера особливе значення має взаємодія продуктивності подачі із процесом видалення вологи. Після термомеханічної обробки частина вологи переходить у пароподібний стан, а знижений тиск сприяє її інтенсивному видаленню. За надмірної подачі сировини збільшується кількість матеріалу, який одночасно надходить до вакуумної зони. За незмінної продуктивності вакуумної системи це може погіршити умови відведення водяної пари та зменшити ефективність зневоднення. Натомість надто мала подача не забезпечує максимально можливого використання конструктивної продуктивності машини.

Важливим показником роботи обладнання є також питома енергоємність процесу. З технологічної точки зору раціональним є режим, за якого забезпечується максимально можлива продуктивність при допустимому навантаженні на привод, стабільному температурному режимі та необхідній якості продукту. Енергетичні характеристики екструзійного процесу тісно пов'язані з витратою сировини, величиною механічної роботи, тепловим балансом обладнання та режимами його роботи [3].

Таким чином, залежність технологічних показників термовакуумного екструдера від продуктивності подачі має комплексний характер. Збільшення подачі сировини в раціональних межах забезпечує зростання продуктивності обладнання та може сприяти зменшенню питомих енерговитрат. Водночас перевищення оптимальної масової витрати призводить до зростання навантаження на шнековий механізм, зміни тиску та температури матеріалу, скорочення часу його перебування у робочій зоні й можливого погіршення ефективності вакуумного видалення вологи.

Продуктивність подачі рослинної сировини є одним із ключових керованих параметрів роботи термовакуумного екструдера. Її зміна безпосередньо впливає на ступінь заповнення робочої камери, крутний момент, тиск, тривалість обробки, питому механічну енергію та ефективність видалення вологи. Для забезпечення високої технологічної та енергетичної ефективності процесу необхідно експериментально визначити раціональний діапазон продуктивності подачі для конкретного виду рослинної сировини. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення багатофакторної залежності між продуктивністю подачі, частотою обертання шнека, температурою, рівнем вакууму та питомими енерговитратами термовакуумного екструдера.

Список використаних джерел

1. Yeh A.-I., Jaw Y.-M. Effects of Feed Rate and Screw Speed on Operating Characteristics and Extrudate Properties During Single-Screw Extrusion Cooking of Rice Flour. Cereal Chemistry. 1999. Vol. 76, No. 2. P. 236–242. DOI: 10.1094/CCHEM.1999.76.2.236.

2. Schmid E. M., Farahnaky A., Adhikari B., Torley P. J. High moisture extrusion cooking of meat analogs: A review of mechanisms of protein texturization. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21. P. 4573–4609. DOI: 10.1111/1541-4337.13030.

3. Janssen L. P. B. M., Moscicki L., Mitrus M. Energy aspects in food extrusion-cooking. International Agrophysics. 2002. Vol. 16, No. 3. P. 191–195.

4. Coțovanu I., Mironeasa S., Ungureanu-Iuga M., Mironeasa C. Effect of extrusion parameters on the extruded products features. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2023. DOI: 10.5593/sgem2023V/6.2/S25.17.

5. Pasqualone A., Costantini M., Coldea T. E., Summo C. Use of legumes in extrusion cooking: A review. Foods. 2020. Vol. 9, No. 7. Article 958. DOI: 10.3390/foods9070958.

УДК 37.115:621.65

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МОЛОЧНОГО НАСОСА

Куликівський В. Л., Бережницький М. В.
Поліський національний університет

Сучасне молочне скотарство характеризується підвищенням рівня механізації та автоматизації технологічних процесів. Одним із найбільш відповідальних процесів на молочно-товарних фермах є машинне доїння корів, від технічної досконалості обладнання для якого залежать продуктивність праці, якість одержаного молока та ефективність функціонування підприємства.

Важливим елементом доїльної установки з молокопроводом є молочний насос, призначений для переміщення молока з молокоприймальної камери до системи фільтрації, охолодження та подальшого зберігання.

Ефективність роботи молочного насоса визначається комплексом конструктивних, режимних, гідравлічних та експлуатаційних факторів. Їх врахування під час вибору, налаштування та експлуатації обладнання дозволяє забезпечити необхідну продуктивність системи, зменшити енергетичні витрати та мінімізувати механічний вплив на молоко.

У сучасних доїльних установках застосовуються переважно відцентрові насоси, а в окремих автоматизованих системах - насоси об'ємного типу. Вибір типу насоса повинен здійснюватися з урахуванням необхідної подачі, напору, фізичних властивостей продукту та конфігурації молокопроводу. Для рідких молочних продуктів невисокої в'язкості широко використовуються відцентрові насоси, тоді як об'ємні насоси мають свої переваги за специфічних режимів транспортування.

Одним із основних показників роботи молочного насоса є подача Q, яка характеризує об'єм молока, що переміщується насосом за одиницю часу. Подача повинна відповідати максимальній інтенсивності надходження молока до молокоприймальної камери. Недостатня продуктивність насоса може призвести до надмірного заповнення молокоприймача, порушення стабільності роботи доїльної установки та виникнення небажаних коливань режиму транспортування молока. Водночас застосування насоса із суттєво завищеною продуктивністю є економічно недоцільним через збільшення встановленої потужності електропривода та можливе зростання механічного впливу на молоко.

Другим важливим параметром є напір H, який повинен бути достатнім для подолання геометричної різниці висот і гідравлічних опорів трубопроводів, фільтрів, охолоджувачів, арматури та інших елементів молочної лінії. Збільшення довжини молокопроводу, кількості поворотів, клапанів та звужень спричиняє додаткові втрати тиску. Тому під час підбору насоса необхідно враховувати характеристику не лише самого насоса, а й усієї гідравлічної системи.

Енергетичну ефективність молочного насоса можна оцінити за його коефіцієнтом корисної дії: $\eta = \rho g Q H / P$, де ρ – густина молока, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; Q – подача насоса, м³/с; H – напір, м; P – потужність, що споживається насосом, Вт. Максимальне значення коефіцієнта корисної дії досягається під час роботи насоса поблизу його оптимальної робочої точки. Значне відхилення режиму роботи від оптимального може супроводжуватися збільшенням питомих енергетичних витрат, вібрацією, шумом і підвищеним зношуванням деталей.

Суттєвий вплив на робочі показники має частота обертання робочого колеса. Для відцентрового насоса зміна частоти обертання приводить до зміни подачі, напору та необхідної потужності. Саме тому перспективним способом регулювання є застосування частотно-керованого електропривода. Він дозволяє адаптувати продуктивність насоса до фактичної інтенсивності надходження

молока, зменшувати кількість циклів увімкнення та вимкнення електродвигуна і потенційно скорочувати споживання електроенергії.

Особливе значення для стабільності роботи молочного насоса мають умови на його всмоктуванні. Недостатній тиск на вході, надмірна довжина або малий діаметр всмоктувального трубопроводу, значна кількість місцевих опорів можуть створювати передумови для виникнення кавітації. Кавітація супроводжується утворенням і руйнуванням парогазових бульбашок, що призводить до зменшення напору та коефіцієнта корисної дії насоса, появи шуму, вібрації й поступового пошкодження робочого колеса. Для її попередження рекомендується мінімізувати гідравлічні опори на всмоктувальній лінії, використовувати трубопроводи достатнього діаметра та забезпечувати необхідний тиск молока на вході насоса.

Вагомим фактором є також наявність повітря в молоці. У процесі машинного доїння транспортування продукції молокопроводом часто відбувається у вигляді молочно-повітряної суміші. Від співвідношення молока і повітря, швидкості їх руху та параметрів молокопроводу залежить стабільність технологічного процесу. Дослідження техніко-технологічних параметрів доїльного обладнання підтверджують важливість взаємозв’язку швидкості руху молочно-повітряної суміші, вакуумметричного тиску та конструктивних параметрів молокопровідної системи. Надходження значної кількості повітря безпосередньо до відцентрового насоса може погіршувати його роботу та зменшувати фактичну продуктивність.

На ефективність транспортування впливають і фізико-механічні властивості молока, насамперед його температура, густина та в’язкість. Зміна температури впливає на в’язкість продукту, а отже - на гідравлічні втрати у трубопроводі та навантаження на насос. Під час вибору насосного обладнання для молочної галузі рекомендується враховувати витрату продукту, його в’язкість, густину, температуру та необхідний тиск у системі.

Важливою вимогою є забезпечення не лише високої продуктивності, але й збереження початкових властивостей молока. Надмірні швидкості руху, інтенсивне перемішування, повторне перекачування та контакт молока з повітрям можуть підсилювати механічний вплив на жирові кульки. Сучасні дослідження автоматизованих систем доїння демонструють, що тип молочного насоса може бути одним із чинників, пов’язаних із вмістом вільних жирних кислот у молоці, хоча вплив самого типу насоса є відносно невеликим і має розглядатися у комплексі з іншими технологічними факторами. Тому оптимізація режиму роботи повинна передбачати не просто максимізацію подачі, а забезпечення необхідної продуктивності за мінімального негативного впливу на якість молока.

Не менш суттєвим є технічний стан насоса. Зношування робочого колеса, збільшення зазорів, пошкодження ущільнень, забруднення внутрішніх поверхонь та відкладення в молокопроводі призводять до зміни гідравлічних характеристик і зниження ефективності. Своєчасне технічне обслуговування,

контроль стану ущільнень, очищення та санітарна обробка обладнання є необхідними передумовами підтримання стабільних параметрів роботи.

Таким чином, ефективність роботи молочного насоса доїльної установки формується внаслідок комплексної взаємодії конструктивних та режимних параметрів. До основних факторів слід віднести тип і конструкцію насоса, подачу та напір, частоту обертання робочого колеса, потужність електропривода, гідравлічний опір молокопроводу, умови всмоктування, вміст повітря у транспортованому молоці, температуру і в'язкість продукту, а також технічний і санітарний стан обладнання.

Список використаних джерел

1. Aliiev E., Paliy A., Dudin V., Kis V., Paliy A., Ostapenko V., Levchenko I., Prihodko M., Korg O., Kladnytska L. Establishing an interconnection between the technical and technological parameters of milking equipment based on the movement of a milk-air mixture in a milking machine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 2, No. 1 (116). P. 35–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253978.

2. Marnet P.-G. Milking Procedures and Facilities. In: Park Y. W., Haenlein G. F. W. (eds.). Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health. Wiley-Blackwell, 2013. DOI: 10.1002/9781118534168.ch3.

3. Woodhouse H. M., LeBlanc S. J., DeVries T. J., Hand K. J., Kelton D. F. Association between milk pump type and free fatty acid concentrations on dairy farms with automated milking systems. Journal of Dairy Science Communications. 2025. Vol. 6, No. 3. P. 309–312. DOI: 10.3168/jdsc.2024-0666.

4. Tetra Pak. Dairy Processing Handbook. Pumps. Tetra Pak, 2025. URL: https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/pumps

5. Wiking L., Nielsen J. H. Effect of automatic milking systems on milk quality. Journal of Animal and Feed Sciences. 2007. Vol. 16, Suppl. 1. P. 108–116. DOI: 10.22358/jafs/74162/2007.

УДК 631.363.7

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПОРІВНЯЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Купчук І. М.

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Порівняльне оцінювання ефективності змішування кормових матеріалів потребує узгодження умов, за яких визначають однорідність суміші, тривалість процесу та питомі енерговитрати. На ці показники впливають властивості й співвідношення компонентів, завантаження

робочої камери, режими роботи та методика оцінювання якості [1, 2]. Тому відмінності отриманих значень не можна однозначно пов’язувати з конструктивними особливостями змішувачів і виникає необхідність обґрунтування методичних засад порівняння, які забезпечують узгодженість технологічного завдання, початкових умов і критеріїв оцінювання, а також визначають межі застосовності висновків щодо ефективності досліджуваних конструкцій і режимів.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженні D. R. Buckmaster та співавторів [1] однорідність повнозмішаних раціонів оцінювали за розподілом фізичних трасерів і розмірних фракцій матеріалу. Для дослідженого раціону з істотною часткою довгих частинок властивості поверхні трасера впливали на визначений коефіцієнт варіації, а оцінювання за розмірними фракціями та кількістю трасерних частинок давало різні значення неоднорідності, що свідчить про результат який характеризує розподіл конкретної контрольованої ознаки суміші, тому вибір цієї ознаки має бути узгодженим у порівнюваних дослідах. M. Wang та співавтори [2] досліджували вплив частоти обертання, тривалості змішування, коефіцієнта заповнення та розташування сегментів спіралі на однорідність і питомі енерговитрати TMR-змішувача. Така постановка забезпечує оцінювання взаємозв’язку конструктивних і режимних параметрів у межах визначених складу матеріалу та діапазонів варіювання факторів.

Зазначені результати дають підстави розмежувати два завдання: визначення раціонального режиму конкретного змішувача та зіставлення ефективності різних конструкцій. У другому випадку необхідно додатково обґрунтувати спільні вимоги до кінцевого стану суміші, принцип вибору режимів і процедуру вимірювання. Предметом подальшого методичного опрацювання є умови, за яких порівняння однорідності, тривалості й питомих енерговитрат дозволяє оцінювати виконання однакового технологічного завдання різними змішувачами.

Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні умов порівняльного оцінювання ефективності змішування кормових матеріалів у змішувачах різних конструкцій шляхом узгодження технологічного завдання, властивостей матеріалу, початкових умов, режимів роботи та процедур визначення якісних і енергетичних показників.

Результати досліджень. Запропоновано процедуру порівняльного оцінювання змішувачів періодичної дії, яка пов’язує вибір бази порівняння з допустимим висновком щодо ефективності процесу. Об’єктом зіставлення є конструкція в конкретному режимі роботи за визначених властивостей матеріалу. Виділено три бази порівняння (рис. 1).

Вибір бази порівняння визначається дослідницьким завданням, а їх взаємодоповнювальне застосування забезпечує оцінювання процесу за часовими, енергетичними та якісними характеристиками. Зіставлення за однакової тривалості або питомих енерговитрат дозволяє оцінювати перерозподіл компонентів за відповідного обмеження ресурсу, тоді як спільні вимоги до кінцевої суміші задають основу для визначення витрат на виконання

технологічного завдання. Недосягнення заданої однорідності в окремому режимі фіксують як обмеження його застосовності в досліджених умовах, зберігаючи можливість порівняння за часовою та енергетичною базами.



Рисунок 1 – Бази порівняльного оцінювання ефективності змішування кормових матеріалів

Кількісний зв'язок між часовими й енергетичними характеристиками процесу визначається залежністю

$$e_i(\mathrm{t}) = \frac{1}{m_i}\int_0^t P_i(\tau)\,\mathrm{d}\tau = \overline{p}_i(\mathrm{t}) \cdot t, \qquad (1)$$

де $e_i(t)$ – накопичені питомі енерговитрати, Дж/кг; m_i - маса партії, кг; $P_i(\tau)$ – фактична потужність, Вт; $\overline{p}_i(t)$ – середня за інтервал t потужність на одиницю маси, Вт/кг.

Ця залежність забезпечує перехід від зіставлення показників у фіксований момент часу до їх оцінювання за заданих питомих енерговитрат, ураховуючи змінність навантаження протягом циклу.

Для двох режимів А і Б, у яких задані вимоги до якості суміші досягаються за час $t_{Q,A}$ і $t_{Q,Б}$ відповідно, виконується співвідношення:

$$\frac{\overline{p}_{Q,A}}{\overline{p}_{Q,Б}} > \frac{t_{Q,Б}}{t_{Q,A}} > 1, \qquad (2)$$

означає, що скорочення тривалості в режимі А супроводжується збільшенням питомих енерговитрат. Отже, ранжування за часовим та енергетичним показниками може бути протилежним, що обґрунтовує необхідність їх спільного розгляду за встановлених вимог до якості [2].

Достовірність такого зіставлення потребує узгодження рецептури, вологості, гранулометричного складу й початкового розміщення компонентів, а також переліку виконуваних операцій. Зокрема, поєднання змішування з подрібненням змінює технологічне завдання та має враховуватися під час визначення кінцевих вимог і меж обліку енергії. Порівняння за однакової маси характеризує оброблення заданої партії, тоді як однаковий коефіцієнт заповнення забезпечує зіставлення за однакової частки зайнятого об'єму камери.

Оскільки ці умови не усувають масштабних відмінностей установок, висновки щодо ефективності обмежують дослідженими поєднаннями конструкції, завантаження та режиму.

Вимірювальну узгодженість забезпечують вибором спільних контрольованих компонентів, маси проб, принципу формування вибірки та стадії контролю з урахуванням залежності оцінок однорідності від властивостей трасера [1]. Початок відліку часу й межі обліку енергії встановлюють відповідно до узгодженого складу операцій. Висновок про перевагу певного режиму формулюють для обраної бази порівняння з урахуванням варіабельності незалежно повторених циклів і похибок вимірювання; за різноспрямованої зміни показників однозначне ранжування потребує визначення технологічного пріоритету або допустимого ресурсного обмеження.

Висновки. Обґрунтовано умови порівняльного оцінювання ефективності змішування кормових матеріалів, які передбачають узгодження технологічного завдання, властивостей і початкового стану матеріалу, умов завантаження, процедур визначення однорідності та обліку енерговитрат. Визначено взаємодоповнювальні бази порівняння – за однакової тривалості, однакових питомих енерговитрат і спільних вимог до якості суміші, вибір яких визначає зміст висновку щодо ефективності досліджених режимів. Аналітично показано, що скорочення тривалості досягнення заданої якості може супроводжуватися збільшенням питомих енерговитрат. Запропонований підхід створює методичну основу зіставлення результатів дослідів у змішувачах різних конструкцій, обмежуючи узагальнення встановлених переваг перевіреними поєднаннями властивостей матеріалу, завантаження та режиму роботи.

Список використаних джерел

1. Buckmaster D. R., Wang D., Wang H. Assessing uniformity of total mixed rations. *Applied Engineering in Agriculture*. 2014. Vol. 30, no. 5. P. 693–698. DOI: 10.13031/aea.30.9783.

Wang M., Wang K., Wen B., Li J., Cen H., Li L., Jing W. Design and testing of segmented spiral total mix ration mixer. *Processes*. 2023. Vol. 11, no. 11. Art. 3124. DOI: 10.3390/pr11113124.

УДК 631.363:636.085.55

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

Ляшенко С. В., Безлунний Р. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасне тваринницьке виробництво характеризується підвищенням вимог до ефективності використання кормових ресурсів, стабільності раціонів та якості кормової продукції. Одним із визначальних чинників забезпечення продуктивності сільськогосподарських тварин є організація повноцінної годівлі, яка передбачає використання кормів із гарантованим вмістом поживних, мінеральних і біологічно активних компонентів. Особливе місце у структурі кормової бази займають комбікорми, рецептура яких формується залежно від виду, віку, продуктивності та фізіологічного стану тварин.

Ефективність використання комбікорму визначається не лише складом рецептури, а й технологічними параметрами його виробництва. Порушення послідовності технологічних операцій, недостатня якість очищення та подрібнення зернової сировини, неточність дозування окремих компонентів або недостатня однорідність суміші можуть зумовлювати нерівномірність поживного складу готового корму та знижувати ефективність його використання.

Для підприємств, які мають власну зернову базу та здійснюють тваринницьку діяльність, актуальним є створення технологічно обґрунтованої механізованої лінії виробництва комбікормів. Така система повинна забезпечувати раціональне переміщення сировини, узгоджену роботу технологічних машин, мінімізацію ручної праці, зниження енергетичних витрат і стабільну якість кінцевої продукції.

У зв’язку з цим удосконалення механізованого технологічного процесу виробництва комбікорму для умов ПА «Агроінвест» Миргородського району Полтавської області є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні технології виробництва комбікормів передбачають комплексну механізацію операцій, починаючи від приймання та очищення сировини і завершуючи формуванням, транспортуванням та зберіганням готового продукту. Основними технологічними операціями є очищення зернових компонентів, їх подрібнення, дозування, змішування та транспортування. За необхідності технологічна схема доповнюється операціями гранулювання, охолодження та сортування [1].

Важливим елементом технологічного процесу є підготовка зернової сировини. Зерно пшениці, ячменю, кукурудзи, вівса та інших культур може містити мінеральні, рослинні та металеві домішки, які негативно впливають на роботу машин і якість комбікорму. Тому застосування сепараторів, аспіраційних

систем і магнітних уловлювачів є необхідною умовою надійної експлуатації технологічного обладнання [2].

Значна увага у дослідженнях приділяється процесу подрібнення. Встановлено, що розмір частинок кормової сировини впливає на перетравність поживних речовин, якість подальшого змішування та енергетичні витрати. Найбільшого поширення набули молоткові дробарки, параметри роботи яких визначаються конструкцією робочих органів, частотою обертання ротора, розміром отворів решета та фізико-механічними властивостями сировини. Надмірне подрібнення супроводжується зростанням питомих енерговитрат та утворенням значної кількості пилу, тоді як недостатній ступінь подрібнення може погіршувати однорідність кормової суміші [3].

Важливим напрямом удосконалення комбікормових технологій є підвищення точності дозування. Використання вагових дозаторів дозволяє забезпечити задане співвідношення компонентів і зменшити відхилення фактичної рецептури від розрахункової. Особливо актуальним це є для введення компонентів, частка яких у загальній масі комбікорму є незначною, зокрема premіксів, мінеральних та вітамінних добавок [4, 5].

Якість готової продукції значною мірою визначається ефективністю змішування. Конструктивне виконання змішувача, тривалість циклу, коефіцієнт його завантаження та фізико-механічні властивості компонентів визначають рівномірність розподілу поживних речовин у кормовій масі. У промислових і фермерських технологіях використовують горизонтальні та вертикальні змішувачі, вибір яких повинен здійснюватися з урахуванням необхідної продуктивності та масштабу виробництва.

Перспективним напрямом є також гранулювання комбікормів. Ущільнення кормової маси у гранули зменшує її схильність до розшарування, знижує пилоутворення та спрощує транспортування і дозовану роздачу. Водночас використання грануляційного обладнання потребує додаткових енергетичних витрат, що необхідно враховувати під час обґрунтування структури технологічної лінії.

Аналіз сучасних підходів свідчить, що ефективність комбікормового виробництва визначається не окремою машиною, а узгодженістю функціонування всього машинно-технологічного комплексу. Тому під час його проектування необхідно враховувати продуктивність обладнання, пропускну здатність транспортних засобів, енергетичні характеристики, можливість автоматизованого контролю та вимоги безпеки.

Мета. Метою досліджень є розроблення та технологічне обґрунтування механізованого процесу виробництва комбікорму в умовах ПА «Агроінвест» Миргородського району Полтавської області з раціональним поєднанням технологічних операцій, машин і транспортуючих засобів, що забезпечує необхідну якість кормової продукції, зниження трудомісткості та підвищення ефективності використання матеріально-енергетичних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити такі завдання: визначити послідовність основних технологічних операцій; обґрунтувати необхідний склад технологічного обладнання; забезпечити узгодження

продуктивності машин; визначити раціональні способи транспортування сировини; оцінити можливості зниження енерго- та трудових витрат; передбачити застосування засобів автоматизованого контролю технологічних параметрів.

Результати досліджень. Раціональна організація виробництва комбікорму передбачає побудову технологічної лінії за принципом послідовного проходження сировини через основні технологічні операції. Загальну структуру процесу доцільно представити у вигляді послідовності: приймання сировини → очищення → подрібнення → дозування → змішування → додаткова обробка → транспортування → зберігання або видача готового комбікорму.

На початковій стадії здійснюється приймання та контроль якості компонентів. Зернова сировина повинна відповідати встановленим вимогам за вологістю, засміченістю та фітосанітарним станом. Проведення вхідного контролю дозволяє своєчасно виявити непридатну сировину та запобігти її надходженню у подальші технологічні операції.

Після приймання зернові компоненти піддаються очищенню. Для цього доцільно використовувати зерноочисні сепаратори, аспіраційні пристрої та магнітні уловлювачі. Видалення сторонніх домішок підвищує якість сировини, зменшує абразивне та механічне навантаження на робочі органи машин і сприяє підвищенню експлуатаційної надійності технологічної лінії.

Очищене зерно надходить на подрібнення. Для реалізації цієї операції доцільним є застосування молоткової дробарки, конструктивні та режимні параметри якої повинні відповідати виду сировини і необхідному ступеню подрібнення. Розмір отворів решета, частота обертання ротора та завантаження робочої камери безпосередньо впливають на гранулометричний склад отриманої фракції. Раціональний режим подрібнення повинен забезпечувати необхідну якість корму без необґрунтованого збільшення питомих енерговитрат.

Наступною операцією є дозування компонентів відповідно до заданої рецептури. Для механізації процесу можуть використовуватися вагові дозатори, які забезпечують необхідну точність формування компонентного складу. Особливо важливою є точність введення мікрокомпонентів, оскільки навіть незначне відхилення їх кількості може змінювати поживну цінність корму.

Після дозування компоненти надходять у змішувач. Основним показником ефективності цієї операції є однорідність готової суміші. Конструкція змішувача повинна забезпечувати інтенсивне переміщування компонентів без значного руйнування їх структури та надмірного енергоспоживання. Для умов господарства тип змішувача необхідно обирати з урахуванням продуктивності лінії, обсягів виробництва та рецептури комбікорму.

Залежно від технологічних потреб готовий комбікорм може використовуватися у розсипному вигляді або піддаватися гранулюванню. Гранулювання забезпечує ущільнення кормової маси, зменшує пилоутворення та схильність до сегрегації компонентів, що є важливим під час транспортування і зберігання.

Переміщення сировини між окремими машинами повинно здійснюватися транспортуючими механізмами відповідної продуктивності. Для цього можуть

застосовуватися норії, шнекові та стрічкові транспортери. Під час компонування обладнання необхідно максимально скорочувати довжину транспортних комунікацій та кількість перевантажень. Реалізація прямоточної схеми сприяє зниженню енерговитрат і втрат сировини.

Важливою умовою ефективної роботи комплексу є балансування продуктивності окремих машин. Пропускна здатність технологічної лінії визначається продуктивністю її найбільш навантаженої або найменш продуктивної ланки. Тому вибір обладнання повинен здійснюватися комплексно, з урахуванням необхідної продуктивності та певного експлуатаційного резерву. Це дозволяє уникнути утворення технологічних «вузьких місць» та простоїв окремих машин.

Окрему увагу необхідно приділити енергетичній ефективності. Основними споживачами електроенергії є дробарки, змішувачі, транспортери та, за наявності, гранулятори. Зниження питомих витрат енергії може бути забезпечено оптимальним завантаженням робочих органів, своєчасним технічним обслуговуванням, контролем стану різальних і робочих елементів, а також недопущенням холостої роботи обладнання.

Підвищення ефективності технологічного процесу також пов'язане із застосуванням засобів автоматизації. Використання електронних ваг, датчиків рівня, систем контролю завантаження та автоматизованого керування приводами дозволяє стабілізувати параметри технологічних операцій, підвищити точність дозування і зменшити вплив людського фактора.

Запропонована структура механізованого процесу створює передумови для скорочення кількості ручних операцій. Обслуговуючий персонал може бути зосереджений переважно на контролі технологічних параметрів, налагодженні обладнання, технічному обслуговуванні та контролі якості готової продукції.

Водночас експлуатація комбікормового обладнання потребує дотримання відповідних вимог охорони праці. Подрібнення зернової сировини супроводжується утворенням пилу, який може негативно впливати на умови праці та за певних концентрацій створювати пожежо- і вибухонебезпечне середовище. Тому технологічна лінія повинна бути обладнана аспірацією, захисними огородженнями, засобами заземлення та пристроями аварійного відключення. Регулярний технічний контроль обладнання є необхідною умовою його безпечної експлуатації.

Таким чином, для ПА «Агроінвест» Миргородського району Полтавської області доцільним є формування комплексної механізованої системи, у якій усі операції – від підготовки зернової сировини до отримання готового комбікорму – технологічно та продуктивно узгоджені. Ефективність такої системи необхідно оцінювати за сукупністю показників: продуктивністю, питомими енерговитратами, трудомісткістю, втратами сировини, однорідністю суміші та стабільністю якості готової продукції.

Висновки. Обґрунтовано доцільність механізації виробництва комбікорму в умовах ПА «Агроінвест» Миргородського району Полтавської області як

засобу підвищення ефективності кормовиробництва, зниження трудомісткості та забезпечення стабільності якісних характеристик кормової продукції.

Встановлено, що раціональний технологічний процес повинен включати взаємопов'язані операції приймання та контролю сировини, очищення, подрібнення, дозування, змішування, транспортування та, за необхідності, гранулювання.

Показано, що ефективність технологічної лінії значною мірою залежить від узгодження продуктивності окремих машин. Недопущення технологічних «вузьких місць» дозволяє зменшити простої обладнання та забезпечити стабільність виробничого циклу.

Раціональне компонування обладнання за принципом прямоточності дає можливість скоротити кількість перевантажень сировини, зменшити транспортні витрати та підвищити загальну енергоефективність виробництва.

Використання вагового дозування, сучасних змішувачів та автоматизованих засобів контролю створює умови для підвищення точності формування рецептури й однорідності комбікорму.

Перспективним напрямом подальшого удосконалення технологічного процесу є впровадження автоматизованої системи керування виробництвом із контролем маси компонентів, рівня завантаження обладнання, режимів роботи приводів та якісних параметрів готового комбікорму.

Запропонований підхід до формування механізованого технологічного процесу може бути використаний як основа для подальшого техніко-економічного обґрунтування складу обладнання та визначення оптимальних режимів роботи комбікормової лінії в умовах господарства..

Список використаних джерел

1. Руденко Є. В., Трішин О. К., Помітун І. А., Подобед Л. І., Шкавро Н. М.. Актуальні питання розвитку технологій виробництва і забезпечення якості продукції скотарства в Україні (присвячено 100-річчю від заснування НААН України). Науково-технічний бюлетень, 2018. (120), 3-13.

2. Механізація технологічних процесів у тваринництві // Навч. посібник / О.Г. Скляр, Н.І.Болтянська. – 2012. – 720 с., іл.

3. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти / Р. В. Скляр, О. Г. Скляр, Н. І. Болтянська, Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 608 с., іл..

4. Гавриш Т. В., Боровікова Н. О., Фоміна І. М., Касабова К. Р. Інноваційні технології виробництва комбікормів: навч.-метод. посіб. Харків: ДБТУ, 2024. 51 с. URL: https://repo.btu.kharkiv.ua/items/d671b0d0-b8ac-4b4c-b2567d58fd1e701e.

5. Бомко В. С., Сивик Т. Л., Бабенко С. П. та ін. Корми і кормові добавки та ефективність їх використання в годівлі тварин: навч. посіб. Біла Церква: БНАУ, 2023. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8420/1/Korm_dobavky.pdf.

УДК 631.363.1:636.085.52

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СИЛОСУВАННЯ КОРМІВ У КОНТЕЙНЕРАХ

Борак К. В.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Нелепін І. О.
Поліський національний університет

Забезпечення тваринницьких господарств якісними кормами протягом року є важливою передумовою ефективного виробництва продукції тваринництва. Одним із найбільш поширених способів заготівлі соковитих кормів є силосування, яке ґрунтується на консервуванні рослинної сировини в анаеробних умовах у результаті переважно молочнокислого бродіння [1, 3]. Правильно організований процес силосування дозволяє тривалий час зберігати корм із мінімальними втратами поживних речовин.

Ефективність традиційних технологій силосування значною мірою залежить від якості ущільнення кормової маси, швидкості заповнення сховища, герметичності, вологості сировини та організації виймання готового корму. Проникнення повітря у кормову масу під час зберігання активізує діяльність аеробних мікроорганізмів, що призводить до нагрівання силосу, руйнування органічної речовини та збільшення втрат сухої речовини [1, 2].

Перспективним напрямом удосконалення технології є застосування герметичних контейнерів для силосування кормів. Контейнерна технологія дає можливість формувати окремі порції силосу, забезпечувати кероване завантаження й ущільнення, герметизувати кожну партію корму та зменшувати обсяг кормової маси, який контактує з атмосферним повітрям після відкриття сховища.

Процес силосування умовно поділяють на початкову аеробну фазу, активну ферментацію, стабільне зберігання та фазу виймання корму [3]. На початковому етапі кисень, що залишився між частинками рослинної маси, використовується в процесах дихання рослинних клітин і життєдіяльності аеробних мікроорганізмів. Після створення анаеробних умов активізуються молочнокислі бактерії, відбувається накопичення органічних кислот та зниження pH кормової маси [3, 4].

Однією з головних умов ефективного контейнерного силосування є максимально швидке створення анаеробного середовища. Цього можна досягти за рахунок раціонального подрібнення рослинної маси, рівномірного завантаження контейнера, ефективного ущільнення та надійної герметизації.

Особливе значення має щільність укладання корму. Зі збільшенням щільності зменшується об’єм повітряних пор між частинками матеріалу, що обмежує проникнення кисню. Підвищення щільності силосної маси є одним із

основних способів зменшення її пористості та втрат сухої речовини [1, 2]. Зазначена закономірність повинна враховуватися під час проєктування контейнерів для силосування. Водночас оптимальні значення щільності необхідно визначати залежно від виду корму, його вологості, ступеня подрібнення та конструктивних параметрів контейнера.

Ефективність процесу силосування можна оцінювати за коефіцієнтом збереження сухої речовини:

$$\eta = (m_2 / m_1) \cdot 100\ \%, \quad (1)$$

де m_1 – маса сухої речовини корму перед закладанням на силосування, кг;

m_2 – маса сухої речовини придатного до використання корму після завершення зберігання, кг.

Підвищення значення коефіцієнта η досягається шляхом зменшення механічних, ферментаційних та аеробних втрат. Основними керованими параметрами контейнерної технології є об’єм і геометрична форма контейнера, ступінь його заповнення, щільність кормової маси, величина тиску під час ущільнення та якість герметизації.

Необхідний робочий об’єм контейнера може бути визначений залежністю:

$$V = m / (\rho \cdot k_v), \quad (2)$$

де V – робочий об’єм контейнера, м³; m – маса корму, що закладається, кг; ρ – середня об’ємна щільність ущільненої кормової маси, кг/м³; k_v – коефіцієнт використання місткості контейнера.

Вибір місткості контейнера доцільно узгоджувати не лише з продуктивністю машин для заготівлі кормів, але й із добовою потребою тваринницького господарства в силосі. Контейнер повинен містити таку кількість корму, яка після його розгерметизації може бути використана протягом короткого періоду. Це дозволяє зменшити тривалість контакту силосу з атмосферним повітрям та ймовірність вторинної ферментації й аеробного псування [1, 5].

Важливим напрямом підвищення ефективності процесу є удосконалення геометричної форми контейнера. Його конструкція повинна забезпечувати рівномірний розподіл тиску під час ущільнення та мінімізувати утворення зон із недостатньою щільністю корму. Особливої уваги потребують місця з’єднання стінок і днища контейнера, де можливе утворення повітряних порожнин. Тому внутрішня поверхня повинна мати мінімальну кількість виступів та елементів, що ускладнюють ущільнення і подальше вивантаження корму.

Герметичність контейнера є одним із визначальних чинників збереження поживних властивостей силосу. Конструкція кришки, ущільнювальних елементів і запірних механізмів повинна максимально обмежувати надходження атмосферного повітря протягом усього періоду ферментації та зберігання. Зниження проникнення кисню сприяє зменшенню втрат сухої речовини та підвищенню аеробної стабільності готового корму [1].

На перебіг процесу силосування суттєво впливає і вологість вихідної сировини. Надмірно волога кормова маса може спричинити виділення значної

кількості соку і втрати розчинених поживних речовин, тоді як надто суха маса гірше ущільнюється та містить більший обсяг повітряних пор. Вміст сухої речовини, забезпеченість корму водорозчинними вуглеводами та буферні властивості рослин є важливими факторами перебігу ферментації [3, 4]. Тому параметри контейнера та режими ущільнення необхідно узгоджувати з фізико-механічними властивостями конкретного виду кормової сировини.

Отже, підвищення ефективності силосування кормів у контейнерах необхідно розглядати як комплексне завдання, що передбачає узгодження конструктивних параметрів контейнера з технологічними властивостями рослинної маси. Основними напрямами удосконалення процесу є підвищення рівномірності ущільнення, зменшення залишкового об'єму повітря, забезпечення герметичності та вибір місткості контейнера відповідно до потреб господарства.

Застосування контейнерного способу силосування створює передумови для зменшення втрат корму та підвищення керованості технологічного процесу. Найбільший вплив на його ефективність мають щільність і рівномірність ущільнення кормової маси, герметичність контейнера, вологість і ступінь подрібнення сировини, а також співвідношення місткості контейнера та інтенсивності використання корму. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення залежності між геометричними параметрами контейнера, величиною тиску ущільнення та щільністю кормової маси. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів контейнерів для силосування кормів.

Список використаних джерел

1. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R. J., Holmes B. J., Muck R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, № 5. P. 3952–3979. DOI: 10.3168/jds.2017-13837.
2. Holmes B. J., Muck R. E. Packing Bunker and Pile Silos to Minimize Porosity. Focus on Forage. 2008. Vol. 10, № 1. P. 1–2.
3. Oude Elferink S. J. W. H., Driehuis F., Gottschal J. C., Spoelstra S. F. Silage fermentation processes and their manipulation. Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders : Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, 1 September – 15 December 1999. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2000. P. 17–30.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Silage Making for Small Scale Farmers. Rome : FAO, [б. р.].
5. Jones C. M., Heinrichs A. J., Roth G. W., Ishler V. A. From Harvest to Feed: Understanding Silage Management. University Park : Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, 2004.

УДК 637.115:621.3

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДІЙКОВОЇ ГУМИ

Носенко Є. О.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблем. Дійкова гума є одним із ключових елементів доїльного обладнання, оскільки безпосередньо взаємодіє з дійкою вимені та бере участь у формуванні умов перенесення молока під час роботи доїльного апарата. Її фізико-механічні та реологічні властивості визначають характер деформації, силу натягу та стиску, тривалість окремих фаз доїльного циклу, а також умови механічного впливу на дійку. Зміна властивостей гуми в процесі експлуатації може призводити до погіршення роботи доїльного обладнання та зміни умов молоковіддачі [1].

Особливої актуальності набуває оцінювання властивостей дійкової гуми не лише за статичного розтягнення, а й в умовах, наближених до реального процесу доїння, коли гумова оболонка піддається одночасній дії деформації та вакууму. У процесі експлуатації механічні властивості гуми можуть змінюватися під впливом циклічних навантажень, вакуумного режиму, температури та тривалості використання.

Міжнародний стандарт ISO 6690 [2] визначає механічні випробування доїльних установок і вимоги до точності вимірювальних засобів, що підтверджує важливість об’єктивного контролю параметрів доїльного обладнання. Тому розроблення спеціалізованого автоматизованого засобу для комплексного дослідження дійкової гуми є актуальним завданням агроінженерії.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження експлуатаційних властивостей дійкової гуми свідчать про суттєву залежність її механічних характеристик від тривалості використання. Встановлено, що під час експлуатації змінюються хімічний склад і динамічні механічні властивості матеріалу, причому жорсткість окремих ділянок гуми може істотно зростати. Такі зміни пов’язують, зокрема, з поглинанням компонентів молока та втратою окремих складових гумової композиції [3].

Важливим фактором функціонування дійкової гуми є вакуумний режим. Дослідження показують, що конструкція дійкової гуми, рівень вакууму та параметри пульсації впливають на характеристики процесу доїння і реакцію тканин дійки. Водночас форма дійкової гуми також може впливати на вакуумні умови та інтенсивність молоковіддачі [4, 5].

В українських дослідженнях також встановлено зміну конструктивних, технологічних і фізико-механічних параметрів дійкової гуми під час випробувань та промислової експлуатації. Це обґрунтовує необхідність періодичного контролю її технічного стану та визначення закономірностей зміни параметрів у процесі зношування [3].

Таким чином, перспективним напрямом є створення автоматизованого випробувального обладнання, яке дозволяє одночасно реєструвати деформацію, зусилля та вакуумні параметри дійкової гуми.

Метою роботи є розроблення та експериментальне дослідження автоматизованого стенду для визначення фізико-механічних і реологічних характеристик дійкової гуми за різних умов навантаження та вакуумної дії.

Результати досліджень. Розроблений стенд складається зі станини, модуля вертикального переміщення, тензометричного модуля, вакуумної системи та системи керування. Модуль вертикального переміщення виконано на основі С-подібної колони з лінійними напрямними, гвинтовою передачею, кареткою та кроковим двигуном. Переміщення каретки контролюється лінійним потенціометром, а її крайні положення обмежуються кінцевими вимикачами.

Тензометричний модуль містить тензобалку, до якої через спеціальне кільце та сухар кріпиться нижня частина дійкової гуми. Верхня частина гуми встановлюється у тонкостінному циліндрі, закріпленому на рухомій каретці. У верхню частину дійкової гуми встановлюється штучна дійка, геометрія якої імітує відповідну частину дійки корови. Така конструкція забезпечує можливість прикладання осьового навантаження до дійкової гуми та реєстрації сили її опору деформації.

Вакуумна система оснащена генератором постійного або пульсуючого вакууму. Для контролю вакуумного режиму передбачено два вакуумметричні датчики: один вимірює тиск у нижній частині дійкової гуми, інший – у зоні штучної дійки. Це дозволяє оцінювати не тільки величину заданого вакууму, а й його зміну в різних частинах досліджуваного зразка.

Система керування забезпечує автоматизацію процесу випробування. До її складу входять блок живлення, драйвер крокового двигуна, плата керування з дисплеєм, клавіатура, кнопка вмикання та засоби контролю положення, сили й вакууму. Передача результатів до персонального комп’ютера здійснюється через USB-порт. Оператор може задавати режим випробування, швидкість переміщення каретки та величину її переміщення.

На стенді передбачено три основні режими дослідження дійкової гуми: розтяг–розвантаження, релаксація та динаміка розтягу за пульсуючого вакууму. У режимі розтяг–розвантаження формується залежність зусилля від абсолютної деформації. Під час випробування зразок спочатку розтягується із заданою швидкістю, після досягнення встановленого переміщення здійснюється його розвантаження із реєстрацією відповідних сигналів.

У режимі релаксації після досягнення заданої деформації каретка зупиняється та фіксується. Подальша зміна зусилля реєструється протягом заданого часу, що дозволяє отримати залежність сили від часу та оцінити релаксаційні властивості матеріалу.

Найбільш наближеним до експлуатаційних умов є режим динаміки розтягу за пульсуючого вакууму. Після досягнення заданого положення здійснюється циклічний процес розтяг–розвантаження за дії пульсуючого вакууму. При цьому

одночасно реєструються зусилля та вакуумметричні тиски у верхній і нижній частинах дійкової гуми.

Отримані експериментальні дані можуть передаватися до комп'ютера через USB-з'єднання та використовуватися для подальшої математичної обробки, побудови кривих навантаження–розвантаження та гістерезисних залежностей. Аналіз таких залежностей дає можливість оцінювати зміни фізико-механічних властивостей дійкової гуми, у тому числі під час її експлуатаційного зношування.

Висновки. Розроблено автоматизований стенд для комплексного дослідження фізико-механічних і реологічних властивостей дійкової гуми. Конструкція стенду забезпечує кероване осьове переміщення досліджуваного зразка, вимірювання сили та деформації, а також контроль вакууму у верхній і нижній частинах дійкової гуми. Запропонована система дозволяє проводити випробування за атмосферного тиску, постійного та пульсуючого вакууму в режимах розтяг–розвантаження, релаксації та динамічного розтягу. Автоматизація керування та реєстрації параметрів підвищує об'єктивність і відтворюваність експериментальних досліджень. Практичне застосування стенду дає можливість порівнювати нову та експлуатовану дійкову гуму, визначати зміни її сили натягу та релаксаційних характеристик, оцінювати вплив вакуумного навантаження й отримувати експериментальні дані для прогнозування довговічності. Результати можуть бути використані для обґрунтованого вибору дійкової гуми та верифікації технічних характеристик, заявлених виробниками.

Список використаних джерел

1. Boast, D., Hale, M., Turner, D., & Hillerton, J. E. (2008). Variation in rubber chemistry and dynamic mechanical properties of the milking liner barrel with age. *Journal of Dairy Science, 91*(6), 2247–2256. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0316

2. International Organization for Standardization. (2007). *ISO 6690:2007: Milking machine installations – Mechanical tests*. ISO.

3. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Rybalko, I., Pavlichenko, O., Prihodko, M., Popsui, V., Bondarchuk, L., & Chernyavskaya, T. (2023). Establishing changes in the parameters of teat rubber for milking machines during testing and under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1*(1(121)), 58–66. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272030

4. Spencer, S. B., Shin, J.-W., Rogers, G. W., & Cooper, J. B. (2007). Short communication: Effect of vacuum and ratio on the performance of a monoblock silicone milking liner. *Journal of Dairy Science, 90*(4), 1725–1728. https://doi.org/10.3168/jds.2006-493

5. Thompson, P. D., Dzidic, A., Mein, G. A., Penry, J. F., Sanford, S. A., & Reinemann, D. J. (2021). Cyclic pressure applied to cows' teats by teatcup liners can be determined simply and noninvasively. *Journal of Dairy Science, 104*(2), 1881–1886. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18854

УДК 631.363:636.085

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОРМОПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА

Хохуля Є., Падалка В.В.
Полтавський державний аграрний університет

Оптимізацію технологічного процесу виробництва збалансованої кормової добавки доцільно здійснювати шляхом упровадження ресурсозберігаючої технології, реалізація якої забезпечується використанням спеціалізованого подрібнювально-екстракційного пристрою.

Одним із шляхів підвищення вмісту повноцінного білка в кормах є введення до раціонів сільськогосподарських тварин насіння сої та продуктів його переробки. Соєве насіння є цінним джерелом білка рослинного походження та характеризується високою кормовою цінністю. Одним із доступних і технологічно простих способів його використання є виробництво кормової добавки, яку можна застосовувати як замінник знежиреного молока під час вирощування молодняку великої рогатої худоби та свиней. Використання такої добавки сприяє поліпшенню поживної цінності раціону та підвищенню продуктивності сільськогосподарських тварин.

Водночас відомі технології та технічні засоби для виробництва кормових добавок із термічно обробленого повножирного соєвого борошна характеризуються значними матеріальними та енергетичними витратами. За умов утримання невеликої кількості тварин застосування таких технологій може бути економічно недоцільним через високу собівартість кінцевого продукту.

Важливою складовою повноцінної годівлі та забезпечення нормального розвитку сільськогосподарських тварин є надходження вітамінів. Як природне джерело вітамінів до складу кормових раціонів доцільно включати соковиті корми, зокрема коренеплоди — моркву та буряк, а також баштанні культури, серед яких особливе місце посідає гарбуз.

Аналіз існуючих техніко-технологічних рішень щодо виробництва кормових добавок свідчить про недостатню ефективність окремих із них, що зумовлено конструктивними недоліками обладнання, підвищеними ресурсними витратами та недосконалістю організації технологічного процесу. З огляду на це, перспективним рішенням є виробництво кормової добавки на основі соєво-коренеплідних композицій із використанням подрібнювально-екстракційного пристрою. Такий підхід дає змогу поєднати процеси подрібнення та екстрагування компонентів і створити передумови для зниження ресурсних витрат та підвищення ефективності виробництва збалансованої кормової добавки [1, 2].

На основі опрацювання наукової літератури та патентної інформації встановлено, що питання виробництва та ефективного використання кормових

добавок для молодняку сільськогосподарських тварин на сьогодні залишається остаточно невирішеним.

Виробництво сухих кормових добавок характеризується значними трудовими, енергетичними та матеріальними витратами, що пов’язано з необхідністю застосування технології розпилювального сушіння. Перед проведенням сушіння рідка молочна та соєва білкова сировина потребує попереднього згущення, що додатково ускладнює технологічний процес. Значних ресурсних витрат потребують також технології, в яких використовуються термічно оброблена соєва крупка та соєве борошно.

Для малих і середніх сільськогосподарських підприємств більш доцільним є приготування кормових добавок безпосередньо в умовах господарства із використанням попередньо замоченого соєвого зерна та спеціалізованих малогабаритних установок. Проте, незважаючи на високий вміст білка та значну кормову цінність сої, її зерно характеризується недостатнім вмістом β-каротину. Тому використання соєво-морквяних і соєво-гарбузових композицій у виробництві кормових добавок дає можливість компенсувати дефіцит природного β-каротину, вітаміну Е та повноцінного білка в раціонах молодняку сільськогосподарських тварин.

Водночас аналіз наукових даних щодо застосування зазначених композицій у технологіях механізованої годівлі молодняку сільськогосподарських тварин показує недостатню забезпеченість ефективними технічними засобами для їх підготовки. Існуючі абразивні та інші типи робочих органів не забезпечують необхідного ступеня подрібнення коренеплодів і стабільності технологічного процесу. Це значною мірою зумовлено волокнистою структурою та специфічними властивостями поверхні рослинної сировини.

Таким чином, для ефективного регулювання складу та технологічних властивостей соєво-коренеплідних композицій розроблено спеціалізований робочий орган, здатний забезпечувати комплексну переробку зазначеної сировини у водному середовищі. Такий робочий орган забезпечує дезінтеграцію компонентів, ефективне вилучення поживних речовин у кількості, що відповідає зоотехнічним вимогам, а також відокремлення нерозчинної жомової фракції.

У результаті проведеної перевірки підтверджено достовірність результатів теоретичних і експериментальних досліджень. На підставі отриманих результатів обґрунтовано склад технологічної лінії для виробництва кормової добавки для молодняку сільськогосподарських тварин із використанням соєво-коренеплідних композицій, а також розроблено методику її розрахунку.

Встановлено, що запропонована технологічна лінія забезпечує безвідходне виробництво кормової добавки із вмістом сухих речовин 10,8–17,5 %, залежно від виду соєво-коренеплідної композиції. Одночасно в процесі переробки утворюється нерозчинний соєво-коренеплідний жомовий залишок із вологістю 37,5–49,9 %. При цьому сумарна енергоємність становить 35,4–49,9 кВт/л.

Список використаних джерел

1. Vishwanathan K.H., Singh V., Subramanian R. (2011). Influence of particle size on protein extractability from soybean and okara. Journal of Food Engineering, 102(3), 240–246. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.026

2. Rahman M.M., Mat K., Ishigaki G., Akashi R. (2021). A review of okara (soybean curd residue) utilization as animal feed: Nutritive value and animal performance aspects. Animal Science Journal, 92(1). DOI: 10.1111/asj.13594

УДК 637.1:621.56/.59:620.9

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПЕРВИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА

Савченко В. М., Савін Н. Л.
Поліський національний університет

Однією з основних умов одержання високоякісної молочної сировини є її швидке охолодження безпосередньо після доїння. Своєчасне зниження температури молока уповільнює розвиток мікроорганізмів, сприяє збереженню його фізико-хімічних і технологічних властивостей та збільшує допустиму тривалість зберігання [1]. Водночас охолодження є однією з найбільш енергоємних технологічних операцій молочнотоварної ферми, тому підвищення енергетичної ефективності холодильних систем має важливе практичне значення.

Метою роботи є обґрунтування основних напрямів підвищення енергетичної ефективності систем первинного охолодження молока шляхом застосування попереднього охолодження, оптимізації режимів роботи холодильного обладнання та використання вторинних енергетичних ресурсів.

Кількість теплоти, яку необхідно відвести від молока, можна визначити за залежністю:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти, кДж; m – маса молока, кг; c – питома теплоємність молока, кДж/(кг·°С); t_1 і t_2 – відповідно початкова та кінцева температури молока, °С.

Одним із найбільш ефективних способів зменшення навантаження на холодильну машину є зниження температури молока до його надходження в резервуар-охолоджувач. Раціональною є двоступенева схема, за якої на першому етапі молоко проходить через пластинчастий теплообмінник, а на другому охолоджується холодильною установкою до необхідної температури [2].

Перспективним рішенням є використання пластинчастих теплообмінників для попереднього охолодження молока водою. Свіже молоко та холодна вода рухаються окремими каналами теплообмінника, при цьому частина теплоти молока передається воді без використання парокомпресійної холодильної машини. Дослідження показують, що попереднє охолодження суттєво зменшує

навантаження на основну холодильну систему, а його ефективність значною мірою залежить від співвідношення витрати води та молока [2]. Економічно доцільним є поєднання системи безпосереднього охолодження з попереднім зниженням температури молока приблизно до 15 °С перед надходженням у резервуар [3].

Результати дослідження роботи 58 молочних ферм показали, що використання ґрунтової води у пластинчастому теплообміннику забезпечувало в середньому 21 % економії електроенергії, яка витрачалася на охолодження молока [4]. Для підвищення загальної ефективності системи нагріту після теплообмінника воду доцільно повторно використовувати для напування тварин або господарських потреб.

Важливе значення має оптимізація співвідношення витрат молока та охолоджувальної води. Надмірна подача води збільшує її споживання та витрати електроенергії насосного обладнання без пропорційного покращення теплопередачі. Дослідження J. Fryč та співавторів показали, що оптимізація режимів роботи пластинчастого теплообмінника дозволяє додатково знизити температуру молока на 0,7–1,6 °С або зменшити споживання охолоджувальної води. В експериментальній установці економія води становила 4,8 % [5].

Іншим напрямом підвищення енергетичної ефективності є оптимізація роботи компресорно-конденсаторного агрегату. Робота компресора в неоптимальних режимах, забруднення поверхні конденсатора, недостатня вентиляція та незадовільна теплоізоляція резервуара призводять до збільшення питомого споживання електроенергії. Тому важливими заходами є регулярне технічне обслуговування теплообмінних поверхонь, забезпечення належного повітрообміну, використання сучасних компресорів і автоматизованого керування холодильним обладнанням.

Практичні дослідження підтверджують ефективність пластинчастого попереднього охолодження. Системи з пластинчастим охолоджувачем витрачали в середньому 9,68 Вт·год на 1 кг молока, тоді як система без попереднього охолодження – близько 13,20 Вт·год/кг [6]. Отже, навіть без заміни основного холодильного агрегату встановлення попереднього охолоджувача може суттєво скоротити енергоспоживання.

Важливим резервом економії енергоресурсів є також рекуперація теплоти холодильної установки. Під час охолодження теплота молока відводиться через конденсатор у навколишнє середовище. Встановлення рекуперaційного теплообмінника дозволяє використати частину цієї енергії для попереднього нагрівання води, необхідної для промивання молочного обладнання та санітарного обслуговування доїльної установки. Це забезпечує скорочення витрат не лише на охолодження, а й на нагрівання технологічної води [6].

Окремим напрямом є застосування акумуляторів холоду, які дозволяють накопичувати холод у періоди меншого навантаження на електромережу та використовувати його під час доїння. Проте такі системи не завжди зменшують загальне енергоспоживання. За даними P. Shine та співавторів, установки з льодоакумуляторами споживали приблизно на 32 % більше електроенергії на одиницю охолодженого молока порівняно із системами безпосереднього

розширення, але дозволяли перенести близько 25 % споживання електроенергії з денного періоду [4]. Тому їх застосування необхідно обґрунтовувати з урахуванням тарифів на електроенергію та режиму роботи підприємства.

Перспективною є комбінована система первинного охолодження молока, що включає пластинчастий теплообмінник, резервуар-охолоджувач із якісною теплоізоляцією, енергоефективний компресорно-конденсаторний агрегат, систему рекуперації теплоти та автоматизований контроль температури й енергоспоживання. Дослідження сучасної системи з пластинчастим охолоджувачем і тепловим акумулятором показали можливість охолодження молока до 4 °C приблизно за 30 хв, тоді як традиційній системі для досягнення аналогічної температури було потрібно понад дві години [7].

Таким чином, підвищення енергетичної ефективності систем первинного охолодження молока повинно ґрунтуватися на комплексному вдосконаленні технологічної схеми. Найбільший практичний ефект забезпечують попереднє охолодження молока у пластинчастому теплообміннику, оптимізація витрат охолоджувальної води, застосування енергоефективного холодильного обладнання, рекуперація теплоти та автоматизоване керування. Реалізація зазначених заходів дозволяє зменшити навантаження на компресорне обладнання, скоротити питоме споживання електричної енергії та забезпечити необхідну швидкість охолодження молока.

Список використаних джерел

1. Кочубей-Литвиненко О. В., Ющенко Н. М. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник. Київ : НУХТ, 2013. 211 с.
2. Murphy M. D., Upton J., O'Mahony M. J. Rapid milk cooling control with varying water and energy consumption. Biosystems Engineering. 2013. Vol. 116, No. 1. P. 15–22. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.05.007.
3. Upton J., Murphy M., de Boer I. J. M., Groot Koerkamp P. W. G., Berentsen P. B. M., Shalloo L. Investment appraisal of technology innovations on dairy farm electricity consumption. Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98, No. 2. P. 898–909. DOI: 10.3168/jds.2014-8383.
4. Shine P., Scully T., Upton J., Shalloo L., Murphy M. D. Electricity & direct water consumption on Irish pasture based dairy farms: A statistical analysis. Applied Energy. 2018. Vol. 210. P. 529–537. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.07.029.
5. Fryč J., Kudělka J., Los J., Koutný T., Kebo V. Optimization of the Plate Heat Exchanger Used for Milk Precooling. Acta Technologica Agriculturae. 2023. Vol. 26, No. 2. P. 115–120. DOI: 10.2478/ata-2023-0016.
6. Buckley F., Murphy M. D., Prendergast R. Factors affecting energy efficiency in herringbone and rotary milking parlours. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 11. e21428. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21428.
7. Vekariya Y., Deep A., Kathiriya M., Tellabati R. Performance Evaluation of On-farm Raw Milk Cooling System. Asian Journal of Current Research. 2024. Vol. 9, No. 2. P. 81–90. DOI: 10.56557/ajocr/2024/v9i28606.

УДК 631.363.7

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС У КОНСТРУКЦІЯХ МОБІЛЬНИХ І САМОХІДНИХ КОРМОРОЗДАВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ

Скляр О. Г., Скляр Р. В.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Постановка проблеми. Приготування й роздавання кормів формують технологічний зв'язок між розрахованим раціоном і фактичним споживанням поживних речовин тваринами. Для повнораціонних сумішей він залежить від точності дозування, однорідності розподілу компонентів і збереження структури волокна. Недостатнє перемішування створює відмінності складу корму вздовж кормового столу, а надмірне подрібнення змінює умови пережовування й функціонування рубця. Продуктивність машини необхідно оцінювати разом із якістю раціону [1].

Аналіз останніх досліджень. В. С. Хмельовський та С. Є. Потапова дослідили взаємодію шнека, ножів і бункера та вплив режимів роботи на якість суміші й енергомісткість [2]. Р. В. Кісільов і співавтори встановили вплив геометричних і кінематичних параметрів лопатевого змішувача на однорідність кормів та енергоспоживання [3]. Подальшого узагальнення потребує поєднання цих конструктивних та експлуатаційних критеріїв із цифровим дозуванням і автоматизацією годівлі.

Мета дослідження. Мета статті полягає в узагальненні напрямів науково-технічного прогресу в конструкціях кормороздавачів-змішувачів та умов їх результативного використання.

Результати досліджень. Компонувальна еволюція машин поєднує інтеграцію операцій із перерозподілом функцій між агрегатами. Причіпні й напівпричіпні агрегати без самозавантаження використовують трактор як джерело тягової та приводної потужності, а компоненти надходять до бункера від окремого навантажувача [4]. Це дає змогу використовувати наявний машинний парк, але потребує погодження роботи агрегатів. У машинах із самозавантаженням захоплювач або фрезерний пристрій частково зменшує цю залежність. Самохідний кормороздавач із завантажувальною фрезою об'єднує переміщення, відбір корму, змішування й видачу під керуванням одного оператора.

Місткість бункера має відповідати обсягу окремої партії та кількості технологічних груп, а габарити й ходова частина — ширині проїздів, висоті воріт і стану покриття. Збільшення місткості скорочує кількість рейсів лише за достатнього завантаження. Надмірно великий бункер для малих партій ускладнює формування сталих потоків матеріалу, тоді як перевантаження обмежує його циркуляцію. Продуктивність залежить від узгодження місткості з раціонами та маршрутами.

Перехід до дво- і тришнекових компонувань збільшує робочий об’єм, але потребує узгодження потоків на ділянках їх взаємодії. У горизонтальних системах шнекові або лопатеві органи створюють поздовжній і поперечний рух маси. Перевагу схеми визначають властивості компонентів, допустиме подрібнення й витрати енергії. Різальні елементи на витках шнека поєднують змішування з розпусканням рулонів і подрібненням довговолокнистого корму. Контрножі стримують спільне обертання маси зі шнеком і створюють умови для її розрізання. Зміною їх положення можна регулювати інтенсивність обробки, однак збільшення різальної дії підвищує навантаження на привод. Вдосконалення ножів охоплює їх форму, матеріал, кріплення та розташування. У системі Trioliet Trioform передбачено ножі різної довжини й самозагострювання робочої поверхні. Контроль зношування ножів необхідний для зменшення опору різанню та підтримання якості суміші.

Розвиток приводів спрямований на узгодження режимів подрібнення, змішування та спорожнення бункера. Ступінчасті редуктори, гідравлічне регулювання або керовані електродвигуни дають змогу змінювати частоту обертання відповідно до навантаження. Підвищення швидкості на завершенні роздавання може зменшувати залишки корму, тоді як інтенсивна обробка протягом усього циклу збільшує ризик переподрібнення. Незалежне керування рухом, фрезою і шнеками полегшує погодження операцій.

Завантажувальна фреза визначає швидкість відбору корму та ступінь його первинної обробки. Узгодження швидкості різання з подачею стріли має забезпечувати стабільний потік без перевантаження привода й зайвого подрібнення волокон. Якість відбору також оцінюють за станом поверхні силосного масиву: інтенсивне розпушування збільшує контакт корму з повітрям. Оскільки опір різанню змінюється з ущільненням і вологістю, режим фрезерування потребує коригування під конкретний корм. Продуктивність фрези слід узгоджувати з ваговим контролем і можливостями змішувальної камери.

Оптимальний режим змішування має одночасно забезпечувати однорідність компонентів і збереження необхідної структури волокна. Його встановлення залежить від складу раціону, попередньої підготовки сировини, порядку завантаження, гостроти ножів та заповнення бункера. Контроль готової суміші має поєднувати оцінювання поживного складу та розподілу частинок. Сепаратор Penn State дає змогу порівнювати фракції корму в пробах із різних ділянок кормового столу й виявляти наслідки недостатнього перемішування або надмірного подрібнення. Коефіцієнт варіації характеризує розсіювання обраного показника, проте його допустиме значення залежить від маркера та процедури відбору проб. Електронне зважування забезпечує кероване дозування компонентів. Тензометричні опори бункера передають сигнал до термінала, який зберігає рецепти, відображає задану й фактичну масу компонентів та реєструє відхилення. Достовірність вимірювання залежить від калібрування, стану опор, нахилу машини й коливань під час роботи. Контроль лише загальної маси партії не виявляє взаємної компенсації помилок окремих компонентів, тому доцільно

реєструвати кожне завантаження. Реєстрація дозування дає змогу аналізувати витрати кормів і повторюваність процесу.

Подальше вдосконалення дозування пов'язане з вимірюванням сухої речовини. Однакова маса вологого корму за різної вологості містить різну кількість сухої речовини, що змінює фактичне співвідношення складових раціону. Аналізатори ближньої інфрачервоної спектроскопії дають змогу оцінювати цей показник у потоці матеріалу. Зокрема, EVONIR компанії Dinamica Generale передбачає вимірювання сухої речовини та поживних характеристик із перерахунком маси компонента під час завантаження самохідного змішувача. Точність такого контролю залежить від калібрування для відповідного виду корму та репрезентативності вимірювання.

Рівномірність роздавання формується взаємодією змішувального органу, вивантажувального вікна й транспортера. Гідравлічний шибер регулює переріз виходу, а стрічковий або ланцюгово-планчастий транспортер спрямовує корм до потрібного боку. Подачу необхідно погоджувати зі швидкістю руху та зміною рівня суміші в бункері. За незмінного відкриття шибера коливання швидкості агрегату можуть спричиняти нерівномірне розміщення корму вздовж фронту годівлі. Перспективою є автоматичне погодження подачі зі швидкістю руху та контроль залишкової маси.

Висновки. Науково-технічний прогрес у конструкціях кормороздавачів-змішувачів проявляється в інтеграції операцій, удосконаленні циркуляції кормової маси та керуванні її обробкою. Геометрія шнеків, стан ножів, положення контрножів і заповнення бункера спільно визначають однорідність та структуру суміші. Поєднання зважування з контролем сухої речовини підвищує можливості відтворення раціону. Вибір машини має враховувати властивості кормів, обсяги партій і логістику ферми.

Список використаних джерел

1. Скляр Р.В., Болтянський Б.В. Моделювання та оптимізація раціону годування дійних корів у зимовий період. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 1. №5. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-5.

2. Хмельовський В. С., Потапова С. Є. Обґрунтування параметрів шнека кормоприготувального агрегату та розміщення на ньому ножів. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2021. Вип. 14 (113). С. 132–141. https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-15

3. Кісільов Р. В., Лузан П. Г., Амосов В. В., Васильковський М. О. Дослідження впливу конструктивних параметрів змішувача на якість приготування кормової суміші. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 12 (43), ч. 1. С. 187–194. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.187-194.

4. Boltianskyi B., Sklyar R., Boltianska L., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. Processes 2021, 9(7), 1144 https://doi.org/10.3390/pr9071144 .

УДК 631.3

ПРИГОТУВАННЯ КОРМОВОЇ СУМІШІ ДЛЯ ВРХ У АВТОМАТИЗОВАНИХ КОРМОЦЕХАХ

Хмельовський В. С.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Автоматизований кормоцех — це ключовий технологічний комплекс сучасних тваринницьких ферм, який забезпечує приймання та підготовку кормових компонентів, зокрема їх подрібнення, дозування, змішування та роздавання. Основною метою таких об'єктів є забезпечення стабільної якості кормового раціону та мінімізація витрат кормових компонентів. У традиційному виконанні кормоцеху процес транспортування та роздавання готової кормової суміші, до місця годівлі тварин, здійснюють інші машини. Такими машинами є мобільні кормороздавачі, що агрегатуються із тяговими машинами. Ця технологія передбачає залучення людського ресурсу на кожній операції.

Застосування автоматизованого кормоцеху у процесі приготування повноцінної кормової суміші, для годівлі великої рогатої худоби, приводить до того, що всі процеси виконуються із мінімальною участю людського ресурсу. У автоматизованому кормоцеху контроль за виконанням технологічного процесу здійснюють датчики, та контролери, а послідовність та тривалість технологічних операцій вписують у файли програмного забезпечення управлінням кормоцеху. Основною операцією в автоматизованих кормоцехах є дозування компонентів, точність дози повинна знаходитись в межах 1-2 %. Висока точність дозування зумовлена вимогами до поживної цінності кормового раціону. Перевагами автоматизованих кормоцехів перед іншими засобами приготування кормів до згодовування є висока однорідність змішування кормової суміші, точність доз рецепту та інтеграції з цифровими системами управління фермою. В економічному відношенні, це зумовлює зменшення витрат кормів, зниження трудових витрат, а також підвищення продуктивності стада. Стосовно тварин, вони мають покращене перетравлення та зменшення стресу при годівлі. Проте такі комплекси мають ряд недоліків. Основним є висока вартість втілення у виробництво, також це вимагає висококваліфікованих працівників, висока залежність від електроенергії та складність технічного обслуговування.

Проте, є ще один напрям забезпечення кормами тварин - це індивідуальна годівля під час доїння, яка вважається однією з найефективніших технологій точної годівлі (precision feeding) у молочному скотарстві. Ця технологія дозволяє "підлаштувати" енергетичні показники раціону під кожну корову, використовуючи дані про її стан та продуктивність. Ідея полягає в тому, що корова отримує високоенергетичні концентровані корми саме тоді, коли вона доїться, і саме в тій кількості, яка їй потрібна. При такій технології кожна корова має RFID-мітку (на шиї або в вусі). При вході тварини в доїльний зал або робот-автомат система її розпізнає та завантажує індивідуальні дані, такі як: надій (кг

молока), стадію лактації, масу тіла, історію споживання корму. Система фіксує, чи з'їла корова корм та з якою швидкістю відбувається споживання. У випадку якщо є відхилення, подається сигнал оператору або відбувається автоматична корекція, за активністю тварини слідкують датчики руху.

Отже, використання автоматизованих ліній приводить до ефективного використання кормових компонентів, забезпечує оптимальну годівлю тварин та контролює залежність видачі кормів від продуктивності тварини.

Список використаних джерел

1. Сучасні технології годівлі ВРХ. https://uvt.com.ua/suchasni-tekhnolohii-hodivli-vrkh/?utm_source=chatgpt.com.

2. Кормороздавачі-змішувачі — Агробізнес сьогодні / Механізація АПК № 8, 2010. https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/831-kormorozdavachi-zmishuvachi.html?utm_source=chatgpt.com.

3. Сучасні технології годівлі ВРХ - Група компаній «Українські ветеринарні технології» https://uvt.com.ua/suchasni-tekhnolohii-hodivli-vrkh/?utm_source=chatgpt.com.

4. Кормороздавачі для ферм ВРХ, кормовий стіл для ВРХ https://vkazivka.com/svoimi-rukami/gospodarstvo/kormorozdavachi-dlya-ferm-vrx-kormovij-stil-dlya-vrx-foto.html?utm_source=chatgpt.com.

УДК 631.363.2

КРУТНИЙ МОМЕНТ НА ЖИВИЛЬНОМУ РОТОРІ БІТЕРНО-НОЖОВОГО АПАРАТА У ПРОЦЕСІ СТИСНЕННЯ ТРАВЯНОЇ МАСИ

Холодюк О. В.
Вінницький національний аграрний університет,
Кузьменко В. Ф.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

Постановка проблеми. Робота, що витрачається на подрібнення трав'яної маси, включає витрати на виконання основних технологічних операцій – захоплення, стискання, різання та тертя листостеблової маси, її переміщення по каналу, а також подачу подрібненої маси до кузова або камери пресування. Окрему складову становлять витрати енергії на холостий хід робочих органів подрібнювального апарату [1, 2, 3]. Специфіка роботи бітерно-ножового апарату полягає в тому, що для здійснення захоплення, стискання та розрізання порції листостеблової маси, а також її переміщення через формуючий канал необхідно забезпечити відповідний крутний момент на живильному роторі подрібнювального апарату [4]. У зв'язку з цим для достовірного визначення питомої енергоємності процесу подрібнення трав'яної маси необхідно визначити величину моменту, сформованого під дією сукупності складових зусиль, що виникають на живильному роторі подрібнювального апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що на сьогодні не існує універсальної залежності для визначення сумарного зусилля різання листостеблової маси або крутного моменту на валу подрібнювального апарату [4, 5]. У зв'язку з цим руйнівне зусилля, крутний момент на валу подрібнювального апарату та роботу, витрачену на процес різання, у більшості випадків необхідно визначати окремо для кожної конструкції подрібнювача. При цьому слід враховувати характер і спосіб різання, конструктивні особливості взаємодії різальної пари, режимні параметри роботи обладнання, а також фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу.

У роботі [5] розглянуто процес захоплення, стискання маси і її подачу у кільцевий канал пальцями живильного ротора подрібнювального апарата. Відзначено, що робота живильного ротора можлива в трьох режимах, а саме: із згружуванням маси; проміжний і з розтягуванням потоку маси.

Одержана аналітична залежність [6] дозволяє встановити зміну кута повороту пальців живильного ротора подрібнювального апарата у зоні стискання трав'яної маси та розрахувати зміну зусилля її стискання, крутний момент на валу живильного ротора до початку різання та витрати енергії.

Мета досліджень. Метою роботи є встановлення аналітичної залежності зміни крутного моменту на валу живильного ротора бітено-ножового апарата у зоні стискання трав'яної маси.

Результати досліджень. В зоні, що характеризується дугою BD (рис. 1) відбуватиметься стискання маси до виникнення на дисковому ножі напружень, що призводять до її різання та подальшого різання маси без збільшення величини напружень. Цей кут $\alpha_{ст.різ}$ стискання-різання визначається

$$\alpha_{ст.різ} = \Delta \cdot k_1 . \quad (1)$$

Завершується різання при досягненні пальцем точки А, тобто взаємодія відбувається на дузі FD, яка характеризується кутом взаємодії αвз, що визначається по залежності

$$\alpha_{вз} = \Delta + \lambda_{\min} . \quad (2)$$

Для визначення зусилля, що виникає на пальці бітера в результаті стискання маси розглянемо кільцевий канал перерізом висотою hп та шириною lр, який повністю заповнений масою з щільністю γо (рис. 1).

Вважаючи, що канал між пальцями заповнено матеріалом масою М, визначаємо початкову щільність матеріалу

$$\gamma_o = \frac{M}{l_p \cdot h_n \cdot \left(R_б + 0{,}5h_n\right) \cdot \Delta \cdot k_1} . \quad (1)$$

При переміщенні пальця на етапі стискання маси, матеріал стискається і, відповідно, щільність його збільшується. При повороті ротора, за якого палець переміщується з положення В, що відповідає куту α_2 (рис. 1) на певний кут μ маса стискується і щільність її збільшується і сягає величини

$$\gamma = \frac{M}{l_p \cdot h_n \cdot \left(R_б + 0{,}5h_n\right) \cdot \left(\Delta k_1 - \mu\right)}, \tag{2}$$

де μ – кут повороту пальця до початку різання маси, рад.

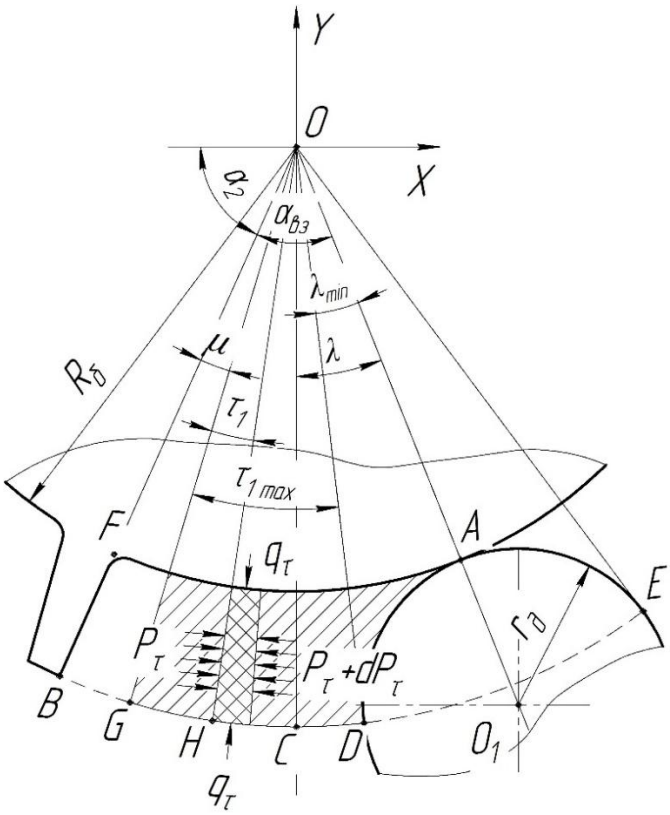


Рис. 1. Схема до визначення зусилля взаємодії пальця з масою на етапі її стискання

Тиск в захопленій пальцем порції маси можна визначити скориставшись залежністю [7]

$$P_\mu = C\left(\exp a \cdot \gamma_o \frac{\mu}{\Delta \cdot k_1 - \mu} - 1\right), \tag{3}$$

де а, С – коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу і характеризують його опір стисканню [8];

$\Delta \cdot k_1$ – кут стискання-різання маси, рад;

Виразимо кута μ в залежності від кута повороту пальця ротора, із рис. 1 маємо

$$\mu = \alpha + \lambda_{\min} + \Delta \cdot k_1 - \lambda - 0{,}5\pi. \tag{4}$$

Підставляючи вираз (4) у залежність (3) отримаємо рівняння, що пов'язує кут повороту пальця із тиском Рстріз, що виникає в секторі різання маси

$$P_{стріз} = C\left(\exp a \cdot \gamma_o \left[\frac{\alpha + \lambda_{\min} + \Delta \cdot k_1 - \lambda - 0{,}5\pi}{0{,}5\pi + \lambda - \lambda_{\min} - \alpha}\right] - 1\right). \tag{5}$$

Помноживши отриману величину тиску на площу поперечного перерізу кільцевого каналу та на середнє значення радіуса прикладання цього зусилля отримаємо залежність зміни крутного моменту М5 в процесі стискання-різання стеблової маси, а саме

$$M_5 = P_{ст\,різ} \cdot l_p \cdot h_n \cdot \left(R_б + 0{,}5h_n\right). \quad (6)$$

Тоді підставляючи (5) в (6) будемо мати

$$M_5 = l \cdot h_n \cdot \left(R_б + 0{,}5h_n\right) C\left(\exp a \cdot \gamma_o \left[\frac{\alpha + \lambda_{\min} + \Delta \cdot k_1 - \lambda - 0{,}5\pi}{0{,}5\pi + \lambda - \lambda_{\min} - \alpha}\right] - 1\right). \quad (7)$$

Висновок. Одержана аналітична залежність (7) дозволяє встановити зміну крутного моменту на валу живильного ротора бітерно-ножового апарата у зоні стискання трав'яної маси до початку різання.

Список використаних джерел

1. Машини та обладнання для тваринництва : Підручник. / Ревенко І.І. та ін. К.: ЦП «Компринт», 2018. 567 с.

2. Хомик Н.І. Машини та обладнання для тваринництва: курс лекцій. Ч. 1 / Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.

3. Кузьменко В.Ф., Максіменко В.В., Холодюк О.В. Розвиток засобів механізації кормовиробництва. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний зб.* 2020. № 12 (111). С. 91-101.

4. Холодюк О.В. Руйнуюче зусилля різання при взаємодії леза дискового ножа з трав'яною масою. *Всеукраїнський науковий журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. 2020. № 1 (108). С. 29-36.

5. Kholodiuk O.V., Gunko I.V., Kuzmenko V.F. Theoretical study of the change of the torque on the shaft of the feeding rotor of the shredding machine during the capture and compression of the grass mass. *Agricultural engineering*. 2022. Vol. 54. С. 73-91.

6. Холодюк О.В., Кузьменко В.Ф. Кут попереднього стиснення трав'яної маси у різальній парі бітерно-ножового апарата. *Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–18 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2025. С. 198-201.

7. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. К.: Урожай, 2002. 364 с.

8. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том. 2 (ч. 1). Машини для заготівлі кормів. / П.М. Заїка. Х.: Око, 2003. 360 с.

СЕКЦІЯ «СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ, ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС»

UDC 621.31:629.7

PROSPECTS FOR DEVELOPING AN AUTONOMOUS UAV CHARGING AND ATTACHMENT SYSTEM FOR POWER TRANSMISSION LINE INSPECTION

Nataliia Priliepo
Poltava State Agrarian University,
Kostiantyn Popov
Comenius University Bratislava

Effective maintenance of power transmission lines is essential for the reliable operation of energy infrastructure. Traditional inspection methods are labor-intensive, require specialized equipment, and often expose personnel to elevated risk. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) significantly improves the efficiency of monitoring line condition, provides access to hard-to-reach sections, and yields reliable data on the state of conductors, insulators, towers, and fittings without interrupting equipment operation [1-3].

Modern inspection UAV platforms can be equipped with high-resolution digital cameras, thermal imaging systems, laser rangefinders, and other remote-sensing tools. This lays the groundwork for automating the diagnostic process and for the timely detection of defects arising during the operation of overhead power lines. One of the main factors limiting the effectiveness of UAV deployment is their limited flight endurance, which is dictated by battery capacity. When inspecting long stretches of high-voltage lines, the aircraft must periodically return to a base station to recharge or swap its battery, extending mission time and reducing inspection productivity. The aim of this work is therefore to analyze current technical solutions and the prospects for developing an autonomous system for charging UAVs directly from power lines, and to define the key requirements for an automatic attachment mechanism. A promising conceptual approach to implementing such a system is inductive energy harvesting from the magnetic field of a power line's phase conductor, with subsequent conversion of the harvested energy into a voltage suitable for charging the UAV's onboard battery. This concept has already demonstrated its technical feasibility in experimental studies, but it requires a clear separation between the attachment function and the energy-transfer function. Reliable perching of the aircraft on the conductor can be achieved through mechanical or magnetic gripping, while the charging itself is handled by a separate, detachable inductive coupling circuit (Fig.1) [4, 5]. Also promising is the use of intelligent charging devices capable of adapting their operating mode to the battery's state [6]. Implementing such a system requires a dedicated mechanism capable of automatically gripping the conductor, maintaining stable positioning during inductive

charging, mitigating electromagnetic interference (EMI), and safely releasing the UAV after charging. At the same time, this unit must be lightweight, highly reliable, and must minimize the drive's power consumption while holding the aircraft on the wire.

Based on the analysis of current scientific publications, the main requirements have been established for a mechanism that automatically attaches a UAV to a power line conductor. These include a compact design, rapid actuation, reliable holding of the aircraft under varying external conditions, low power consumption of the electric drive, and the ability to perform repeated gripping-and-release cycles without degrading performance.



a) b)

Fig.1. UAV approach (a) and attachment to a power line conductor (b) [4, 5]

In conclusion, the analysis of current research confirms the promise of an autonomous system for charging UAVs from power transmission lines as a way to improve the efficiency of overhead line inspection. The core requirements for a mechanism that automatically attaches the UAV to the conductor have been formulated, thus providing a foundation for further engineering design and experimental validation. Future research should focus on developing the gripping mechanism's design, selecting a rational kinematic scheme for its actuator, mathematically modeling the interaction between the mechanism and the conductor, and experimentally validating the feasibility of the proposed technical solutions.

References

1. Li, X., Li, Z., Wang, H., & Li, W. (2021). Unmanned Aerial Vehicle for Transmission Line Inspection: Status, Standardization, and Perspectives. *Frontiers in Energy Research*, 9, 713634. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.713634

2. Ahmed, F., Mohanta, J. C., & Keshari, A. (2024). Power Transmission Line Inspections: Methods, Challenges, Current Status and Usage of Unmanned Aerial Systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110(2), 54. https://doi.org/10.1007/s10846-024-02061-y

3. Nguyen, V. N., Jenssen, R., & Roverso, D. (2018). Automatic autonomous vision-based power line inspection: A review of current status and the potential role of deep learning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 99, 107-120. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.12.016

4. Hoang, V. D., Nyboe, F. F., Malle, N. H., & Ebeid, E. (2024). Autonomous Overhead Powerline Recharging for Uninterrupted Drone Operations. *Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10611522

5. Hoang, V. D. (2025). Advanced Self-Charging Magnetic Grasping System with EMI Mitigation from Electric Sparks for Drones on High-Voltage Power Lines. Ph.D. thesis, University of Southern Denmark. https://doi.org/10.21996/9e797e80-a2a4-424b-a9f4-c2bdf6272c31

6. Popov, S. V., Levchenko, Y. V., Petrash, O. V., & Popov, K. S. (2024). Experimental study of the operating modes of an intelligent pulse charger. *Proceedings of the Tavria State agrotechnological university*, 24(1), 122-135 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-9

УДК 62-192(075)

КЕРУВАННЯ НАДІЙНІСТЮ ВІДМОВОСТІЙКИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Алфьоров О., Каграманян А.
Український державний університет залізничного транспорту

Здатність системи протистояти відмовам не є окремою технічною характеристикою – вона безпосередньо випливає з внутрішньої структури системи та з того, яке значення надається поняттю «системної відмови». Саме це й визначає, які системи взагалі можна віднести до категорії відмовостійких. До цієї категорії – або до категорії систем із запасом надмірності – слід віднести системи, відмова яких відбувається внаслідок одночасного виходу з ладу більш ніж одного компонента. Іншими словами, втрата функціональності одного компонента сама по собі не означає збою системи в цілому: система зберігає здатність виконувати свої функції, доки кількість компонентів, що одночасно вийшли з ладу, не перевищить певного порогу.

Поняття «некритичного» виходу з ладу компонента в відмовостійкій системі іноді тлумачать як збій, який можна усунути протягом розумного проміжку часу, або як збій, пов’язаний із конкретними, але обмеженими матеріальними збитками. Іншими словами, такий збій не призводить до втрати системою здатності виконувати свої функції та не спричиняє неприйнятних наслідків.

Однак відмовостійка система може вийти з ладу через раптову механічну несправність, спричинену втратою її несучої здатності внаслідок одночасного раптового виходу з ладу більш ніж одного з її компонентів. Отже, єдиним суттєвим і вирішальним чинником, що визначає вихід системи з ладу, залишається кількість компонентів, які одночасно вийшли з ладу внаслідок втрати несучої здатності. Виходячи з цього, доцільність застосування такої конструктивної схеми на практиці слід аналізувати в кожному конкретному випадку: відмовостійка конструкція є виправданою лише тоді, коли кількість елементів, здатних одночасно вийти з ладу, можна обґрунтовано оцінити.

Окремим випадком відмовостійких систем є системи з паралельною структурою. Їхньою визначальною особливістю є те, що вони виходять з ладу лише тоді, коли виходять з ладу всі їхні компоненти без винятку; доки залишається хоча б один працездатний компонент, система продовжує працювати. Якщо компоненти паралельної системи навантажуються окремо й незалежно – тобто навантаження на кожен з них визначається незалежно від стану інших – то відмови в такій системі можна розглядати як незалежні випадкові події. За цієї умови ймовірність безвідмовної роботи системи визначається за формулою:

$$\tilde{R}_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i(t)), \tag{1}$$

де $R_i(t)$ – функції ймовірності безвідмовної роботи окремих компонентів у залежності від часу роботи.

Далі розглянемо конкретний випадок, коли несучі здатності елементів у паралельній системі не мають випадкових коливань і є детермінованими константами. Іншими словами, кожен елемент має чітко визначену, заздалегідь встановлену несучу здатність, яка не змінюється від одного екземпляра до іншого. Тоді для стаціонарних пуассонівських навантажень на елементи з інтенсивностями ω_{oi},, виходячи з виразу (1), отримуємо наступний вираз для ймовірності безвідмовної роботи системи [1 – 4]:

$$\tilde{R}_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \exp[-\omega_{oi} t(1 - R_{1i}(K_i))]). \tag{2}$$

Якщо всі елементи системи мають однакову інтенсивність навантаження та коефіцієнти безпеки, тобто всі елементи однаково надійні ($\omega_{oi} = \omega_o$, $K_i = K$, $i = 1, 2, ..., n;$), то з виразу (2) отримуємо, що

$$\tilde{R}_c(t, n) = 1 - (1 - \exp[-\omega_o t(1 - R_1(K))])^n. \tag{3}$$

Це перетворення значно спрощує подальший аналіз: замість добутку неоднорідних функцій ми маємо справу з однією функцією, параметри якої є однаковими для всіх елементів системи.

Середній час між відмовами системи з паралельною структурою, що складається з елементів однакової надійності, можна визначити за таким виразом:

$$T_c = \int_o^\infty \tilde{R}_c(t)\, dt = \int_o^\infty \left\{1 - (1 - \exp[-\omega_o t(1 - R_1(K))])^n\right\} dt. \tag{4}$$

Вираз (4) можна інтегрувати в замкнутій формі, підставивши змінну

$$x = 1 - \exp[-\omega_o t(1 - R_1(K))], \tag{5}$$

Що перетворює цей інтеграл до вигляду:

$$T_c = \frac{1}{\omega_o\left(1 - R_1(K)\right)} \cdot \int_o^1 \frac{1 - x^n}{1 - x}\, dx. \tag{6}$$

Після інтегрування остаточно отримаємо, що

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i}}{\omega_o\left(1 - R_1(K)\right)}. \tag{7}$$

Отриманий вираз (7) має подвійне значення. По-перше, він демонструє принципову можливість кількісної оцінки надійності паралельної системи за заданих умов – тобто те, що середній час між відмовами такої системи можна обчислити у замкнутій формі, не вдаючись до чисельних методів. По-друге, він безпосередньо вказує на метод управління надійністю паралельної системи: керуючим параметром тут є значення коефіцієнта запасу міцності елемента. Збільшуючи коефіцієнт запасу, можна цілеспрямовано підвищувати надійність системи в цілому; і навпаки, вираз (7) дає змогу оцінити, яким має бути цей коефіцієнт для досягнення заданого рівня надійності.

Список використаних джерел

1. Grynchenko O., Alfyorov O. (2020) Mechanical Reliability. Prediction and Management Under Extreme Load Conditions. Springer Nature Switzerland AG,. 125 p. https://doi.org/10.1007/978-3- 030-41564-8.

2. Гринченко А., Алферов А. (2017) Основы прогнозирования и управления надежностью в условиях экстремальных нагрузок. Харьков ТОВ «Планета - Принт» 136 с.

3. Алферов А. И., Гринченко А. С. (2017) Прогнозирование надежности элементов машин при случайном пуассоновским потоке экстремальных напружений. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. № 7. С. 141–148.

4. Алфьоров О. І. (2019) Прогнозування і управління надійністю систем при пуассонівському потоці навантажень. Крамаровські читання: збірник тез доп. VI Міжнар. наук.-техн. конф. 2019 р., м. Київ. Київ: Видавничий центр НУБіП України. С. 329–331.

При підготовці статті використовувалися інструменти штучного інтелекту для пошуку літератури, граматичної перевірки, перекладу тощо. Всі частини тексту, при написанні яких використовувався ШІ, перевірені та відредаговані авторами особисто. Наукові положення, висновки та результати є власним інтелектуальним внеском авторів.

УДК 631.51:631.312

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Бабич Я. В., Мартиненко О. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми та мета роботи. Обмежені строки збирання потребують високої працездатності комбайнів. Відмови вузлів переривають роботу та збільшують витрати на відновлення. Організаційні особливості обслуговування розглянуто в [1]. Регламент за напрацюванням доцільно доповнювати контролем фактичного стану з урахуванням навантаження й зношення, зберігаючи обов’язкові операції та строки виробника.

Мета - обґрунтувати удосконалену технологію обслуговування та показники її результативності. На основі аналіз публікацій [1–4], структурування сервісних операцій і сценарний розрахунок балансу часу та економічного ефекту.

Обґрунтування технології обслуговування. Відеоендоскопія допомагає виявляти дефекти внутрішніх елементів агрегатів [2]; її застосовують вибірково разом із необхідними вимірюваннями. Smart діагностування пов’язує періодичність контролю з надійністю та витратами [3], а дистанційне передавання даних підтримує організацію сервісу [4].

Запропонована технологія охоплює п’ять етапів: передсезонний аналіз відмов і перевірку критичних вузлів; щозмінні очищення, змащування та регулювання; контроль показників під час роботи; уточнювальне діагностування відхилень; сервісне втручання з повторною перевіркою та записом результату. Пріоритет втручань визначають наслідки відмови й динаміка ознак. Небезпечні пошкодження потребують припинення роботи відповідно до інструкції виробника; інші підтверджені відхилення - планування сервісу. Пороги температури та вібрації встановлюють для конкретного вузла й режиму. Журнал містить напрацювання, умови вимірювання, ознаки дефекту, рішення, тривалість операції та результат перевірки.

Розрахункові показники результативності. Прийнято умовний фонд часу Тф = 200 год. Базовий сценарій: планове ТО - 12 год, аварійні простої - 28 год; удосконалений: 16 і 10 год відповідно.

Час роботи Тр = Тф − ТТО − Тав становить 160 і 174 год. Скорочення аварійних простоїв на 18 год за додаткових 4 год планового ТО дає 14 год роботи. Частка часу працездатності Кч = Тр / Тф зростає з 0,80 до 0,87, тобто на 7 відсоткових пунктів.

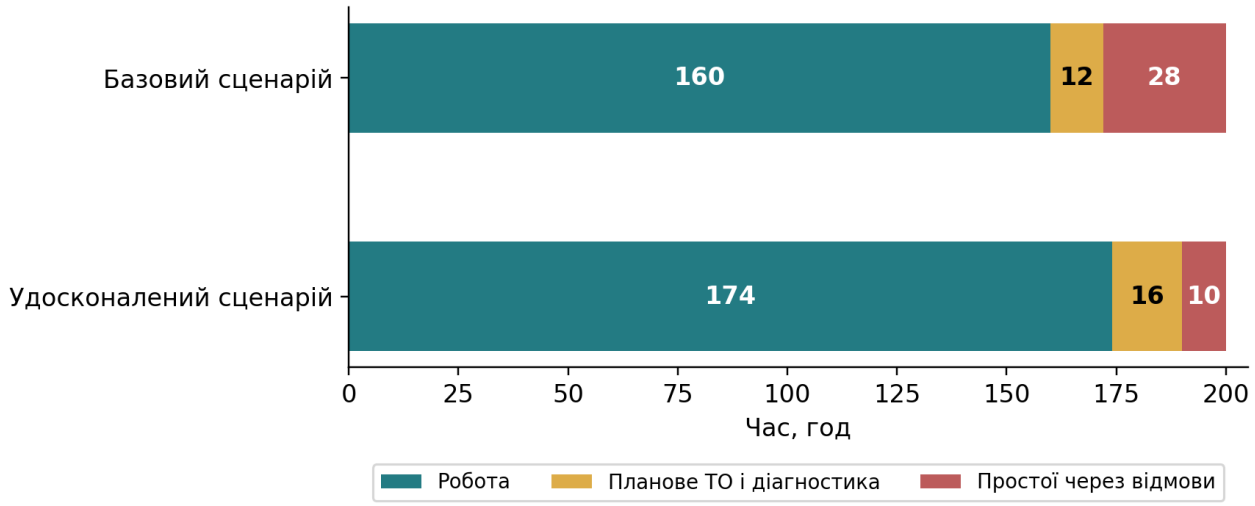


Рис. 1 – Баланс часу за умовними сценаріями. Джерело: авторський розрахунок.

За сталої продуктивності W = 3 га/год потенційна площа A = W · Tp зростає з 480 до 522 га (+42 га; 8,75 %). Фактичний результат залежить від погоди, урожайності та організації робіт. Втрати врожаю цим розрахунком не визначено.

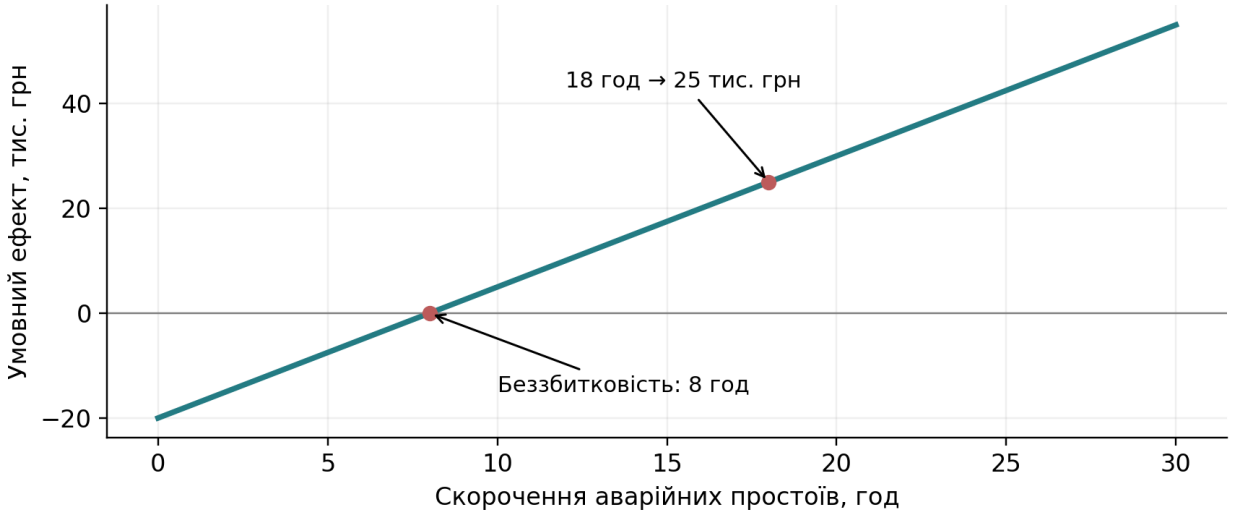


Рис. 2 – Умовний економічний ефект від скорочення аварійних простоїв. Джерело: авторський розрахунок.

Економічна оцінка та виробнича перевірка. Спрощений ефект E = ΔTав · сг − Сдод, де ΔTав – скорочення аварійних простоїв; сг – економічна цінність уникненої години простою; Сдод – додаткові витрати на діагностику й планове ТО. За умовних сг = 2500 грн/год, Сдод = 20 000 грн і ΔTав = 18 год отримано E = 25 000 грн. Додаткові витрати включають ціну 4 год планового сервісу; параметри потребують обґрунтування в господарстві.

Поріг беззбитковості ΔTав* = Сдод / сг дорівнює 8 год. За сг = 1500 і 3500 грн/год він становить відповідно 13,33 і 5,71 год. Повний кошторис має враховувати працю, матеріали, обладнання, програмне забезпечення, навчання та зміни ремонтних витрат. Ефекти від додаткової площі й уникнених простоїв

не підсумовують, якщо вони відображають той самий результат.

Для перевірки потрібні спостереження за комбайнами зі зіставними напрацюванням та умовами роботи, бажано за кілька сезонів. Окремо реєструють планове ТО, аварійне відновлення, очікування деталей, погодні й логістичні затримки. Додаткові показники – частота відмов на 100 мотогодин, середня тривалість відновлення та сервісні витрати на гектар.

Висновки

Поєднання регламентних операцій, контролю фактичного стану та обліку відмов створює основу для своєчасних сервісних рішень. Умовний сценарій показує можливість збільшення часу роботи зі 160 до 174 год, але не доводить такого ефекту у виробництві. Результативність технології необхідно підтвердити зіставними спостереженнями й повним обліком витрат.

Список використаних джерел

1. Боровський В. М., Заріцький Ю. В., Весельський В. І. Особливості технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» (Київ, 22–23 лютого 2024 р.). Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 59–61. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/items/1edc2e4a-e1fa-4f81-933c-e49c143dea5c (дата звернення: 08.10.2026).

2. Швидун О. В. Алгоритм діагностування відеоендоскопією експлуатаційних дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2024. № 25. С. 251–259. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15427955.

3. Вельгас О. Методологічність показників функціональних елементів Smart системи технічного діагностування зернозбиральних комбайнів. Техніка та енергетика. 2026. Т. 17, № 2. С. 78–87. DOI: https://doi.org/10.31548/machinery/2.2026.6.

4. Zhang W., Zhao B., Zhou L., Wang J., Niu K., Wang F., Wang R. Research on Comprehensive Operation and Maintenance Based on the Fault Diagnosis System of Combine Harvester. Agriculture. 2022. Vol. 12, no. 6. Article 893. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture12060893.

УДК 631.3.004.58

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

Бабич Я.В., Жадан І. В.
Полтавський державний аграрний університет

Ефективність роботи сільськогосподарських підприємств значною мірою залежить від технічного стану машинно-тракторного парку та його готовності до виконання польових робіт. У процесі тривалої та інтенсивної експлуатації тракторів, комбайнів й іншої сільськогосподарської техніки відбувається поступове зношування деталей, вузлів і агрегатів. Це негативно впливає на продуктивність машин, призводить до збільшення витрат пального, а в окремих випадках стає причиною несподіваних поломок і вимушених простоїв техніки.[1]. У зв’язку з цим особливого значення набуває своєчасне оцінювання технічного стану машин із використанням сучасних методів діагностики.

Технічна діагностика дозволяє визначати фактичний стан окремих агрегатів і систем машини без необґрунтованого розбирання та ремонту. Сучасні діагностичні технології передбачають використання електронних вимірювальних приладів, датчиків, засобів комп’ютерної діагностики та систем контролю параметрів роботи машин [2]. Відповідно до сучасних підходів до моніторингу технічного стану, важливим є не лише отримання діагностичних даних, а й їх систематичне опрацювання, інтерпретація та представлення для прийняття технічних рішень.

Одним із перспективних методів є віброакустична діагностика, яка дає можливість оцінювати стан підшипників, редукторів, валів, приводів та інших вузлів за характером і рівнем вібрацій. Контроль вібрацій може здійснюватися періодично або безперервно, а вибір місця встановлення датчика та параметрів вимірювання залежить від конструкції та режиму роботи машини [3].

Важливим напрямом є також теплова діагностика із застосуванням тепловізорів. Вона дозволяє виявляти локальні зони перегрівання підшипникових вузлів, електричних компонентів, гідравлічних систем та інших елементів машини. Порівняння температурних параметрів під час роботи дає можливість своєчасно виявити відхилення та запобігти розвитку несправності.

Ефективним доповненням до традиційних методів є аналіз технічних рідин, зокрема моторної та трансмісійної оливи. За зміною їх фізико-хімічних характеристик і наявністю продуктів зношування можна отримати інформацію про стан внутрішніх поверхонь деталей та інтенсивність зношування окремих вузлів. Комплексний підхід до діагностування передбачає поєднання різних параметрів, зокрема вібрації, температури, тиску, режимів роботи та результатів аналізу робочих рідин.

Окреме місце посідає електронна діагностика, особливо для сучасних тракторів і самохідних машин, обладнаних електронними блоками керування. Зчитування кодів несправностей та параметрів роботи дозволяє оперативно визначати відхилення у функціонуванні двигуна, паливної апаратури, трансмісії, гідравлічної системи та інших електронно-керованих систем [4].

Застосування комплексу сучасних методів діагностики має низку важливих переваг:

- своєчасне виявлення несправностей і прихованих дефектів;
- зменшення кількості аварійних відмов техніки;
- скорочення простоїв машин у періоди виконання польових робіт;
- оптимізація періодичності технічного обслуговування та ремонту;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення надійності та ресурсу машин і агрегатів;
- підвищення готовності машинно-тракторного парку до виконання технологічних операцій.

Особливо ефективним є поєднання діагностичних засобів із цифровою обробкою отриманих даних. Формування електронної історії технічного стану машини дозволяє порівнювати результати вимірювань у динаміці, визначати тенденції зміни параметрів та планувати необхідні технічні заходи. Такий підхід відповідає сучасній концепції моніторингу й діагностики машин, яка передбачає отримання, оброблення, передавання та представлення діагностичної інформації для підтримки технічних рішень.

Для машинно-тракторного парку доцільно застосовувати комплексну систему діагностування, у якій результати візуального контролю доповнюються вібраційними, температурними, електронними та лабораторними дослідженнями. Це дозволяє перейти від усунення наслідків несправностей до їх своєчасного виявлення та попередження.

Отже, застосування сучасних методів діагностики є важливою складовою ефективної експлуатації машинно-тракторного парку. Використання віброакустичного, теплового, електронного контролю та аналізу технічних рідин дає можливість більш обґрунтовано оцінювати фактичний технічний стан машин. Комплексне використання діагностичних технологій сприяє підвищенню надійності техніки, скороченню простоїв, оптимізації технічного обслуговування та забезпеченню стабільного виконання технологічних процесів у сучасному аграрному виробництві [2].

Список використаних джерел

1. Сукач М. К. Технічний сервіс машин : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2017. 290 с.

2. Нечипорук В., Орищенко С. Сучасні методи діагностики машин. Техніка будівництва. 2025. DOI: https://doi.org/10.32347/tb.2025-43.0603.

3. Супруненко М. К. Конструктивно-технологічні проблеми реалізації систем вібраційної діагностики несправностей сільськогосподарських тракторів

та шляхи їх подолання: огляд сучасного стану. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2026. DOI: https://doi.org/10.32782/msnau.2026.1.17.

4. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

5. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління : підручник. Київ : Знання, 2004. 478 с.

УДК 631.3:004.94:631.171

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН У СИСТЕМІ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Бабич Я.В., Московець Ю.В.
Полтавський державний аграрний університет

Сталий розвиток аграрного виробництва характеризується активним упровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем керування та засобів точного землеробства. Одним із перспективних напрямів агроінженерії є моделювання технологічних процесів експлуатації сільськогосподарських машин, що дає можливість оцінювати ефективність їх роботи ще до виконання операції в реальних польових умовах.

Моделювання технологічних процесів передбачає врахування комплексу факторів, які впливають на роботу машинно-тракторного агрегату: технічного стану машини, ширини захвату робочого агрегату, робочої швидкості, конфігурації поля, фізико-механічних властивостей ґрунту, рельєфу місцевості та заданих технологічних параметрів. Поєднання цих даних із навігаційною інформацією GNSS, картами-завданнями та інформацією від бортових датчиків дозволяє формувати цифрову модель технологічної операції. GNSS-технології широко застосовуються для картографування полів, навігації техніки, точного керування рухом та реалізації диференційованого внесення матеріалів [1].

Особливістю моделювання в системі точного землеробства є можливість аналізувати декілька варіантів виконання технологічної операції та визначати раціональні параметри роботи машини. До основних показників, які можуть оцінюватися за допомогою моделі, належать продуктивність агрегату, витрати пального, тривалість виконання робіт, довжина холостих переїздів, кількість перекриттів робочих проходів та відповідність фактичного процесу заданій технологічній карті.

Важливим елементом моделі є визначення оптимальної траєкторії руху машинно-тракторного агрегату. Автоматична навігація та планування маршрутів дозволяють зменшити непродуктивні переміщення, підвищити використання робочого часу та забезпечити більш рівномірне виконання технологічної операції. Сучасні системи навігації сільськогосподарських машин поєднують

GNSS, машинний зір, датчики та алгоритми планування траєкторії, що створює передумови для подальшого розвитку автономної техніки [2].

Моделювання технологічних процесів має низку важливих переваг:

- можливість прогнозування результатів роботи машинно-тракторного агрегату;
- обґрунтування оптимальної робочої швидкості та інших експлуатаційних параметрів;
- зменшення непродуктивних витрат робочого часу та пального;
- оцінювання впливу неоднорідності поля на ефективність технологічної операції;
- підвищення точності планування роботи машинно-тракторного парку;
- можливість оперативного коригування параметрів роботи техніки залежно від умов експлуатації.

Перспективним напрямом є використання прогнозних математичних моделей та цифрових двійників сільськогосподарських машин. Такі підходи дають змогу поєднувати дані про технічний стан машини, умови роботи та параметри технологічного процесу для прогнозування його подальшої поведінки. Сучасні дослідження розглядають цифрові двійники як інструмент підтримки польових операцій, адаптивного керування та прогнозного технічного обслуговування сільськогосподарської техніки [3].

Особливо актуальним моделювання є для господарств із великими площами угідь, де навіть незначне підвищення ефективності використання машин може мати суттєве практичне значення. Застосування математичного та імітаційного моделювання дозволяє до початку польових робіт порівнювати різні варіанти комплектування машинно-тракторних агрегатів, режимів їх роботи та маршрутів руху [4]. Це створює основу для прийняття обґрунтованих інженерних рішень і підвищення ефективності використання техніки.

Отже, моделювання технологічних процесів експлуатації машин у системі точного землеробства є перспективним напрямом розвитку агроінженерії. Поєднання математичного моделювання, GNSS-навігації, бортових сенсорів, автоматизованого керування та цифрових даних дозволяє підвищити обґрунтованість експлуатаційних рішень, оптимізувати роботу машинно-тракторних агрегатів та створити передумови для більш ефективного використання ресурсів у сучасному сільському господарстві.

Список використаних джерел

1. Global Navigation Satellite Systems as State-of-the-Art Solutions in Precision Agriculture: A Review of Studies Indexed in the Web of Science. Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 7. Article 1417. DOI: 10.3390/agriculture13071417.

2. Höffmann M., Patel S., Büskens C. Optimal guidance track generation for precision agriculture: A review of coverage path planning techniques. Journal of Field Robotics. 2024. Vol. 41, No. 3. P. 823–844. DOI: 10.1002/rob.22286.

3. Zhang C., Song J., Yin X., Cai J., Liang Y., Lu J. Digital twin-based approaches for agricultural machinery damage prediction and maintenance: A review. Journal of Computational Design and Engineering. 2025. Vol. 12, No. 10. P. 87–117. DOI: 10.1093/jcde/qwaf097.

4. Oksanen T., Visala A. Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. Journal of Field Robotics. 2009. Vol. 26, No. 8. P. 651–668. DOI: 10.1002/rob.20300.

УДК 621.892.03:665.7

КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Бурсова М. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Моторні оливи є важливим експлуатаційним матеріалом для транспортних і сільськогосподарських машин, однак у процесі використання вони накопичують механічні домішки, продукти окислення, смолисті речовини, воду та інші забруднення. Утворення значних обсягів відпрацьованих олив створює одночасно екологічну та ресурсну проблему, оскільки їх неналежне поводження може негативно впливати на довкілля, а виробництво нових мастильних матеріалів потребує використання первинних нафтових ресурсів.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є регенерація відпрацьованих моторних олив із подальшим повторним використанням. Водночас застосування окремих способів очищення не завжди забезпечує необхідну якість відновленої оливи. Тому актуальним є пошук технологічних схем, у яких послідовно поєднуються декілька способів очищення для забезпечення більш повного видалення забруднень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні способи очищення та регенерації відпрацьованих олив умовно поділяють на фізичні, фізико-хімічні, хімічні та комбіновані. До фізичних належать відстоювання, фільтрація та центрифугування, які переважно використовуються для видалення механічних домішок і води. Фізико-хімічні методи включають адсорбцію, екстракцію, коагуляцію, флокуляцію та мембранне очищення. Хімічні способи представлені, зокрема, кислотно-лужною обробкою та гідроочищенням.

Відстоювання є простою та доступною операцією попереднього очищення, однак характеризується значною тривалістю і недостатньою ефективністю щодо дрібнодисперсних домішок. Центрифугування забезпечує інтенсивніше

розділення компонентів за рахунок дії відцентрових сил, проте не дозволяє повністю видалити розчинені продукти окислення та інші колоїдні забруднення.

Фільтрація є ефективною для видалення механічних частинок, але має обмеження, пов'язані із забрудненням фільтрувальних елементів та недостатньою ефективністю щодо розчинених речовин. Глибше очищення може забезпечуватися фізико-хімічними методами, однак вони потребують додаткового обладнання, реагентів або спеціальних матеріалів.

Аналіз наведених методів показує, що жоден окремий спосіб не забезпечує повного відновлення експлуатаційних властивостей відпрацьованої моторної оливи. Це обґрунтовує доцільність застосування комбінованих технологій, які дозволяють послідовно видаляти різні групи забруднень.

Мета. Метою дослідження є обґрунтування комбінованої технології очищення відпрацьованих моторних олив із подальшим використанням очищеного продукту як робочої рідини у відносно простих гідравлічних системах та гідроприводах сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. На основі аналізу відомих способів очищення запропоновано розглядати процес регенерації відпрацьованої моторної оливи як послідовність технологічних операцій, кожна з яких забезпечує видалення певної групи забруднень.

На першій стадії доцільно використовувати відстоювання, під час якого під дією сили тяжіння від оливи відокремлюються частинки з більшою густиною, а також частина води та осаду. Ця операція є простою та не потребує складного обладнання, тому може бути використана як попередня стадія очищення.

Наступною операцією може бути центрифугування, яке забезпечує інтенсифікацію процесу розділення за рахунок відцентрових сил. На відміну від гравітаційного відстоювання, цей спосіб дає можливість ефективніше видаляти механічні домішки та воду.

Для видалення дрібнодисперсних і колоїдних забруднень доцільно застосовувати коагуляційну обробку. Додавання коагулятора сприяє нейтралізації сил, які стабілізують колоїдні частинки, та їх об'єднанню у більші конгломерати. Після цього утворені частинки можуть бути відокремлені фізичними методами.

Завершальними операціями запропонованої схеми є сепарація та тонка фільтрація. Їх застосування дозволяє додатково видалити залишкові механічні домішки та отримати очищену оливу, придатну для подальшого використання за визначених умов.

Таким чином, узагальнену послідовність комбінованого очищення можна представити у вигляді: відпрацьована моторна олива → відстоювання → центрифугування → коагуляційна обробка → сепарація → тонка фільтрація → очищена олива (рис. 1).

Порівняльний аналіз основних методів показує, що кожна технологічна операція має власну область ефективного застосування (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика основних методів очищення відпрацьованих моторних олив

Метод очищення	Основна дія	Переваги	Основні обмеження	Область раціонального застосування
Відстоювання	Гравітаційне осадження домішок	Простота, низька вартість, відсутність складного обладнання	Тривалість процесу, низька ефективність щодо дрібних частинок	Попереднє очищення, видалення грубих домішок і води
Фільтрація	Механічне затримання частинок у фільтрувальному елементі	Простота, доступність, ефективне видалення механічних домішок	Забруднення фільтра, обмежене видалення розчинених речовин	Проміжне та кінцеве очищення
Центрифугування	Відцентрове розділення компонентів	Висока швидкість, ефективність щодо механічних домішок і води	Не видаляє розчинені продукти старіння та колоїдні речовини	Інтенсивне очищення від механічних домішок і води
Адсорбція	Поглинання органічних забруднень на поверхні сорбенту	Глибоке очищення, видалення смолистих і окислених продуктів	Утворення відпрацьованого сорбенту, додаткові витрати	Додаткове очищення від продуктів окиснення
Мембранне очищення	Розділення компонентів за розміром частинок	Висока тонкість очищення, можливість видалення дрібнодисперсних частинок	Висока вартість обладнання, можливе забруднення мембран	Тонке очищення, видалення частинок до 1 мкм
Гідроочищення	Хімічне відновлення оливи під дією водню	Висока якість регенерації, відновлення базових властивостей	Складне і дороге обладнання, потреба у спеціальних умовах	Отримання базових олив, наближених до первинних
Комбінований метод	Послідовне застосування кількох операцій	Комплексне очищення, врахування обмежень окремих методів, видалення частинок до 1 мкм	Складніша технологічна схема, потреба у декількох видах обладнання	Отримання очищеної оливи для використання в гідравлічних системах і гідроприводах спрощеної конструкції

Застосування комбінованої технології дає можливість врахувати обмеження кожного окремого способу та сформувати послідовність операцій відповідно до характеру забруднення. У вихідному дослідженні як раціональну схему визначено поєднання відстоювання, центрифугування, коагуляційної обробки, сепарації та тонкої фільтрації.



Рис. 1. Загальна технологічна послідовність комбінованого очищення відпрацьованої моторної оливи (*схему створено із використанням генеративного ШІ; зміст перевірено та відредаговано автором*)

За результатами проведеного аналізу встановлено можливість використання очищеної оливи як робочої рідини у гідравлічних системах та гідроприводах спрощеної конструкції. Йдеться, зокрема, про системи із шестеренними гідравлічними насосами, золотниковими гідророзподільниками з мускульним керуванням, робочою температурою рідини не вище 70 °С та номінальним тиском до 12,5 МПа.

Висновки. Аналіз сучасних способів очищення відпрацьованих моторних олив показав, що окремі фізичні, фізико-хімічні та хімічні методи мають певні технологічні обмеження та не забезпечують комплексного видалення всіх груп забруднень.

Обґрунтовано доцільність застосування комбінованої технології, що передбачає послідовне відстоювання, центрифугування, коагуляційну обробку, сепарацію та тонку фільтрацію відпрацьованої оливи.

Запропонована послідовність операцій спрямована на поетапне видалення механічних, колоїдних та інших небажаних компонентів відпрацьованої оливи. За даними вихідного дослідження, така схема дає змогу видаляти частинки та механічні домішки розміром до 1 мкм.

Очищену оливу доцільно розглядати як потенційну робочу рідину для гідравлічних систем та гідроприводів спрощеної конструкції за умови дотримання встановлених експлуатаційних обмежень.

Список використаних джерел

1. Журавель Д. П. Забезпечення надійності гідросистем сільськогосподарської техніки шляхом очищення робочих рідин. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-3.

2. Korchak B., Hrynyshyn O., Chervinskyy T., Pyshyev S. Functional-cost analysis of methods of regeneration of used mineral motor oils. Chemistry, Technology and Application of Substances. 2021. Vol. 4, No. 2. P. 33–39. DOI: 10.23939/ctas2021.02.033.

3. Чайка О. Г., Чайка Ю. А. Порівняльний аналіз методів очищення відпрацьованих олив на Україні та за її межами. Вісник НУ «Львівська політехніка». 2009. Вип. 664. С. 224–228.

4. Korchak B., Grynyshyn O., Chervinskyy T., Nagurskyy A., Stadnik V. Integrated regeneration method for used mineral motor oils. Chemistry & Chemical Technology. 2021. Vol. 15, No. 2. P. 239–246. DOI: 10.23939/chcht15.02.239.

5. Келемеш А. О., Хмеленко А. М. Комбіновані технології очищення відпрацьованих моторних олив для інженерних гідросистем. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2026. Вип. 1 (96). С. 65-71. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2026.1.8.

УДК 631.3:62-192

ОБҐРУНТУВАННЯ СЕЗОННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Вертелецький І.В., Горбенко О.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність використання зернозбиральних комбайнів визначається не лише їх продуктивністю, а й технічною готовністю та експлуатаційною надійністю. В умовах обмежених агротехнічних строків збирання навіть нетривалі простої через технічні відмови можуть порушувати ритмічність технологічного процесу та зумовлювати втрати врожаю.

Особливої актуальності ця проблема набуває під час експлуатації комбайнів, які досягли або перевищили нормативний строк служби. У процесі тривалої експлуатації змінюється технічний стан основних агрегатів і систем, зростає ймовірність відмов, збільшується потреба в технічному обслуговуванні та ремонті. Тому визначення раціонального сезонного навантаження має здійснюватися з урахуванням не тільки виробничої продуктивності машини, але й закономірностей зміни її технічної надійності.

Аналіз останніх досліджень. Надійність сільськогосподарської техніки є комплексною характеристикою, що охоплює безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність і збереженість. Для зернозбиральних комбайнів особливе значення має безвідмовність, оскільки виникнення відмов у період масових

польових робіт безпосередньо впливає на тривалість виконання технологічного процесу.

Дослідження експлуатаційної безвідмовності сільськогосподарських машин показують, що показники напрацювання на відмову та коефіцієнта готовності можуть бути використані для оцінювання ефективності машиновикористання. Для зернозбиральних комбайнів також обґрунтовується необхідність урахування інтенсивності відмов, витрат на технічний контроль і втрат від простоїв під час визначення раціональних режимів технічного обслуговування.

Окремого значення набуває експлуатація комбайнів понад нормативний строк. Дослідження надійності агрегатів і систем таких машин свідчать про доцільність диференційованого визначення періодичності технічного обслуговування залежно від фактичного рівня їх надійності. Сучасні підходи доповнюються цифровим моніторингом та Smart-системами діагностування, які дають змогу контролювати технічний стан основних вузлів і своєчасно виявляти відхилення в роботі комбайнів.

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування підходу до визначення раціонального сезонного навантаження зернозбирального комбайна з урахуванням його технічної надійності, строку експлуатації, напрацювання та тривалості простоїв через технічні відмови.

Результати досліджень. Аналіз зміни річного напрацювання тракторів залежно від строку експлуатації показує наявність циклічного характеру цього процесу. Середнє річне напрацювання машин становить 512–786 у. е. га та загалом зменшується зі збільшенням строку їх експлуатації. Найбільш помітне зниження спостерігається після другого, шостого та дев’ятого років роботи. За вісім років експлуатації річне напрацювання зменшується приблизно на 24 %, а за десять років – на 35 % порівняно з другим роком.

Зниження напрацювання супроводжується періодичним відновленням експлуатаційних характеристик після проведення капітальних ремонтів. Це свідчить про необхідність урахування не тільки календарного строку служби, але й фактичного технічного стану машини та її напрацювання.

Для зернозбиральних комбайнів зазначена закономірність має особливе значення, оскільки сезонний характер використання формує високе короткочасне навантаження на основні агрегати. При цьому збільшення сезонного навантаження без урахування рівня технічної надійності може призводити до зростання кількості відмов і тривалості простоїв. Навпаки, недостатнє завантаження техніки призводить до неповного використання її виробничого потенціалу.

Отже, раціональне сезонне навантаження доцільно розглядати як компроміс між необхідною продуктивністю комбайна та допустимим рівнем ризику технічних відмов. Для його визначення необхідно враховувати напрацювання на відмову, коефіцієнт технічної готовності, середню тривалість відновлення працездатності, строк експлуатації та тривалість агротехнічного періоду збирання.

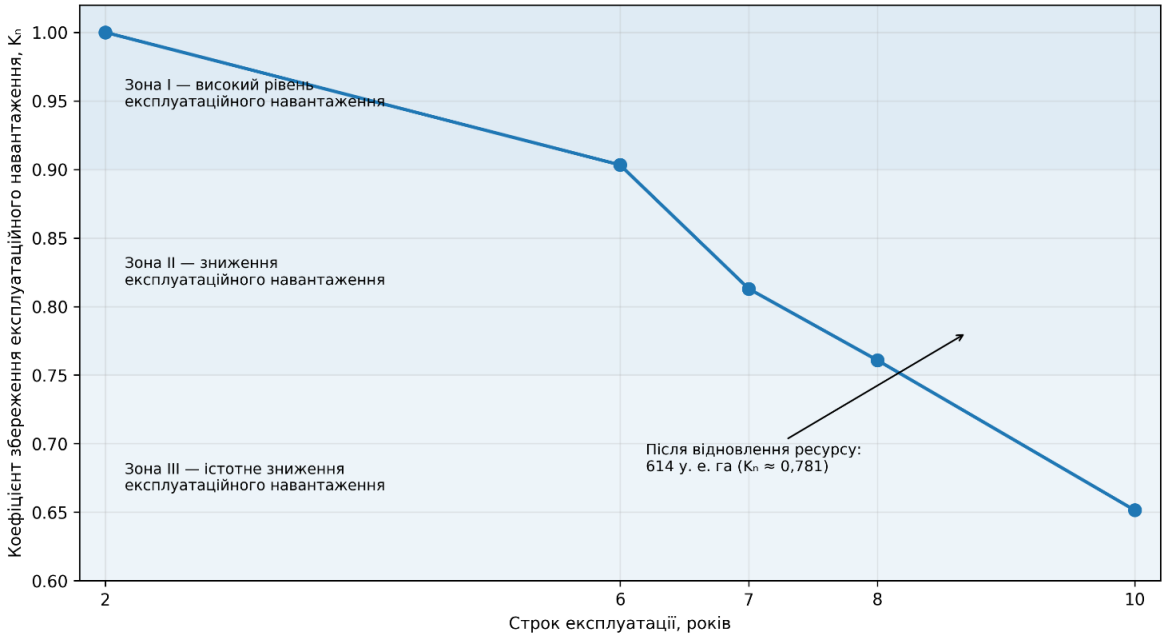


Рис. 1. Зміна експлуатаційного навантаження залежно від строку служби

Отримана залежність свідчить про поступове зниження експлуатаційного навантаження зі збільшенням строку служби машини. У другому році експлуатації коефіцієнт збереження навантаження становить $K_н$=1, тоді як у шостому, сьомому, восьмому та десятому роках його значення зменшується відповідно до 0,903; 0,813; 0,761 та 0,651. Отже, до десятого року експлуатації річне напрацювання зменшується на 34,9 % порівняно з другим роком. При цьому відновлення технічного ресурсу після ремонту супроводжується підвищенням рівня експлуатаційного навантаження. Виявлена закономірність підтверджує доцільність диференційованого визначення сезонного навантаження зернозбиральних комбайнів з урахуванням строку експлуатації, технічного стану та можливості відновлення їх працездатності.

Водночас перспективним є перехід від оцінювання надійності лише за фактичною кількістю відмов до прогнозування зміни технічного стану комбайна. Застосування діагностичних і цифрових систем дозволяє отримувати інформацію про стан основних агрегатів до виникнення критичної відмови та відповідно коригувати графік технічного обслуговування.

Таким чином, для комбайнів, що експлуатуються понад нормативний строк, сезонне навантаження необхідно визначати диференційовано. Основою такого підходу має бути комплексний показник, який поєднує фактичний технічний стан машини, інтенсивність відмов, напрацювання, тривалість відновлення працездатності та необхідну тривалість виконання збиральних робіт.

Висновки. Технічна надійність зернозбирального комбайна є одним із ключових чинників, що визначає допустиме сезонне навантаження та своєчасність виконання збиральних робіт. Зі збільшенням строку експлуатації спостерігається тенденція до зниження річного напрацювання, що зумовлює

необхідність диференційованого підходу до формування режимів використання техніки.

Для комбайнів, які експлуатуються за межами нормативного строку, раціональне сезонне навантаження доцільно визначати з урахуванням напрацювання на відмову, коефіцієнта технічної готовності, тривалості відновлення працездатності та фактичного технічного стану основних агрегатів.

Список використаних джерел

1. Rogovskii, I. Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. *Machinery & Energetics*. 2021. T. 12, № 3. P. 157–166.

2. Смашнюк О. В. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів за рівнем надійності їх агрегатів та систем. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград : КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 229–235.

3. Вельгас О. Методологічність показників функціональних елементів Smart системи технічного діагностування зернозбиральних комбайнів. *Техніка та енергетика*. 2026. Т. 17, № 2. С. 78–87. DOI: 10.31548/machinery/2.2026.6.

УДК 338.43:004.9

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

Вечера О.М., Теслюк Б.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Куянов В.В.
Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України

Воєнні дії суттєво змінили умови функціонування українського агровиробництва. Обмеження доступу до земель, мінування територій, пошкодження виробничої та енергетичної інфраструктури, логістичні труднощі, зростання вартості ресурсів і дефіцит робочої сили формують принципово нове середовище для функціонування підприємств АПК. У таких умовах цифровізація перестає бути виключно інструментом підвищення продуктивності. Вона набуває значення механізму адаптації аграрного виробництва до високої невизначеності, дефіциту ресурсів і необхідності оперативного прийняття управлінських рішень. Цифрові технології забезпечують можливість перейти від реактивної моделі управління до прогнозної, заснованої на постійному зборі, інтеграції та аналізі даних. Крім того, світова економіка переходить до моделі Industry 4.0, у якій інформаційні технології вже не лише допоміжний інструмент, вони перетворюються на ресурс, що безпосередньо впливає на собівартість продукції та використання матеріальних ресурсів і врожайність.

Перед аграрною галуззю стає непросте завдання: потрібно виробляти більше продовольства і водночас зменшувати навантаження на довкілля. Традиційне суцільне обприскування посівів далеко не завжди працює ефективно. За наявними оцінками, до 40% пестицидів може не потрапляти на цільові об'єкти, а натомість накопичуватися у ґрунті та ґрунтових водах. Саме тому системи точного землеробства поступово змінюють сам підхід до роботи з полем: замість однакової обробки всієї площі йдеться про управління окремими мікрозонами, а в перспективі – навіть кожною рослиною.

Проблемам цифровізації аграрного сектору присвячено праці багатьох учених. Однак технології розвиваються настільки швидко, що підходи, які ще кілька років тому вважалися передовими, потребують перегляду. Для українських підприємств особливо гостро стоїть питання окупності: скільки коштів потрібно вкласти в IT-рішення і який реальний економічний результат вони дадуть саме в умовах конкретного господарства.

Перехід від традиційного сільського господарства до Agriculture 4.0 передбачає поєднання кількох технологічних напрямів.

Системи точного землеробства (Precision Farming). Це один із базових напрямів цифрової трансформації аграрного виробництва. Його основою є GPS/GNSS-позиціонування, яке дає змогу техніці рухатися полем із високою точністю. Практичний результат – менше зайвих проходів і менше втрат ресурсів. Усунення перекриттів і пропусків під час роботи техніки. Під час посіву, внесення добрив або обприскування RTK-сигнали забезпечують точність руху агрегата до 2–3 см.

Диференційоване внесення ресурсів (VRA – Variable Rate Application). Одна норма вже не обов'язково підходить для всього поля. Система формує карти-завдання з урахуванням фактичного стану посівів, зокрема індексів вегетації, таких як NDVI.

Точкове обприскування (Spot Spraying). Системи на кшталт See & Spray використовують камери та нейронні мережі, щоб розпізнавати бур'яни безпосередньо під час руху агрегата. Форсунка відкривається лише тоді, коли бур'ян потрапляє в зону роботи сенсора. На ранніх етапах вегетації це дає змогу скоротити використання гербіцидів на 60–80%, а витрати палива – на 15–25%.

Точне землеробство 2.0. У розвинених країнах понад 70% великих ферм використовують ШІ для моніторингу посівів та автоматизації роботи техніки.

Автономні машини. Трактори й комбайни, здатні працювати за GPS-навігацією без безпосереднього керування водієм, поступово переходять із категорії експериментальних рішень у практичне виробництво. Технологія EcoRobotix ARA, зокрема, дає можливість вибірково обробляти бур'яни та економити до 96% гербіцидів.

Прогнозна аналітика. Штучний інтелект може одночасно опрацьовувати генетичні дані та інформацію про погодні умови. Це використовується для прогнозування врожайності та добору сортів, стійких до хвороб.

Прецизійні технології обробки посівів безпосередньо впливають і на витрати, і на стан агроландшафту.

Технологія	Середній відсоток економії ЗЗР	Основний фактор впливу
Посекційне відключення	10–12%	Виключення перекритій на краях
Диференційоване внесення	20–35%	Адаптація до варіативності поля
Сенсорне розпізнавання	60–80%	Локальне знищення бур'янів

Екологічний ефект. Коли на поле потрапляє менше пестицидів, зменшується ризик формування резистентності шкідливих організмів і негативного впливу на корисну мікрофлору ґрунту. Одночасно скорочується обсяг води, необхідної для приготування робочих розчинів. Для господарств, які працюють в умовах дефіциту води та кліматичних змін, це вже не другорядна перевага.

Інтернет речей (IoT) і сенсорні мережі. Ще один напрям – постійний збір інформації безпосередньо з поля. Датчики вологості ґрунту, температури, стану посівів і метеостанції дають змогу отримувати дані в режимі реального часу. На їх основі можна точніше визначати момент проведення польових робіт і не обробляти поле «за календарем», коли фактичні умови цього не потребують.

Безпілотні літальні апарати. Дрони вже стали частиною технологічного арсеналу сучасного АПК. Їх використовують для кількох завдань: мультиспектрального аналізу стану рослин із використанням індексу NDVI; виявлення осередків шкідників і хвороб; створення 3D-карт рельєфу; точкового або суцільного обприскування посівів, особливо там, де складний рельєф обмежує роботу наземної техніки. Перевага БПЛА полягає передусім у можливості швидко отримати детальну картину стану посівів. Інколи саме невелика проблемна ділянка визначає, де потрібно втрутитися, а де техніка взагалі не потрібна.

Великі дані (Big Data) та штучний інтелект. Сучасне аграрне підприємство накопичує значні обсяги інформації. Це дані про врожайність, погоду, стан посівів, використання ресурсів і ситуацію на ринках. Самі по собі ці масиви даних мало що дають. Значення вони набувають тоді, коли програмні комплекси на основі ШІ можуть їх об’єднати й проаналізувати. Такий підхід дає змогу прогнозувати оптимальні строки виконання технологічних операцій, оцінювати майбутню врожайність і формувати маркетингові стратегії та плани [2–3].

Висновки та перспективи: Попри очевидні переваги, системи точного обприскування поки що не стали стандартом для всіх господарств. Причини цілком практичні: обладнання коштує дорого, а персонал потрібно навчати працювати з новими технологіями. Крвм того, для господарств із площею понад 500 га розрахунковий термін окупності таких систем становить 1,5–2,5 року лише за рахунок економії пестицидів. Тому точне землеробство – це не просто встановлення нової електроніки на трактор чи обприскувач. Воно змінює сам принцип організації виробництва. Поле перестає сприйматися як однорідна

площа, яку потрібно однаково обробити. Дані показують, де ресурс справді потрібний, а де його внесення буде зайвим.

Найбільший ефект дають рішення, які поєднують три етапи: збір даних, їх обробку та безпосереднє виконання технологічної операції. До таких рішень належать системи зі змінною швидкістю внесення, автономна техніка та програмні платформи на основі штучного інтелекту. Подальше вдосконалення алгоритмів для розпізнавання патогенів може ще більше зменшити хімічне навантаження на довкілля. У результаті цифрові технології дають можливість одночасно працювати над кількома завданнями: скорочувати витрати ресурсів, підвищувати врожайність і зменшувати негативний вплив на агроекосистеми.

Без державної підтримки цей перехід буде повільнішим. Одним із практичних інструментів може стати пільгове кредитування придбання інноваційного обладнання. Не менш потрібні освітні програми, які готуватимуть фахівців на стику двох сфер – аграрного виробництва та інформаційних технологій. Саме від наявності таких кадрів значною мірою залежатиме, чи залишаться цифрові рішення окремими дорогими технологіями, чи стануть повноцінною частиною українського агровиробництва.

УДК 621.43.004

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗГАЛЬМІВНОЇ ОБКАТКИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПІСЛЯ РЕМОНТУ

Борак К.В., Герук С.М.,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Глушаниця О.В.
Поліський національний університет

Забезпечення високої надійності та довговічності двигунів внутрішнього згоряння після ремонту значною мірою залежить від якості виконання завершальних технологічних операцій. Однією з найбільш відповідальних серед них є обкатка двигуна, під час якої відбувається початкове припрацювання поверхонь тертя, стабілізація геометричних параметрів спряжень, формування робочого мікрорельєфу деталей та перевірка правильності складання і функціонування основних систем двигуна.

Після капітального або поточного ремонту в двигуні можуть бути встановлені нові чи відновлені поршні, поршневі кільця, гільзи циліндрів, вкладиші підшипників колінчастого вала, розподільний вал та інші деталі. При цьому поверхні тертя мають певні відхилення форми, шорсткість і мікронерівності, що зумовлює підвищені сили тертя та інтенсивність зношування на початковому етапі експлуатації. Процес припрацювання полягає у поступовій зміні мікрогеометрії контактуючих поверхонь, перерозподілі

контактних навантажень і переході трибосистеми до більш стабільного режиму тертя та зношування [1–3].

Традиційна технологія післяремонтної обкатки передбачає застосування стаціонарних обкатувально-гальмівних стендів. Як правило, технологічний процес включає холодну обкатку, гарячу обкатку двигуна без навантаження та гарячу обкатку під навантаженням. Використання гальмівного пристрою дає можливість створювати необхідний опір на колінчастому валу та контролювати навантажувально-швидкісні режими. Водночас традиційні обкатувально-гальмівні стенди характеризуються значною вартістю, великими габаритами, необхідністю облаштування спеціалізованої виробничої дільниці, систем вентиляції, відведення відпрацьованих газів, охолодження та енергопостачання. Особливо відчутними ці недоліки є для невеликих ремонтних підприємств, сервісних майстерень і господарств, де кількість відремонтованих двигунів не забезпечує достатнього завантаження дорогого стендового обладнання [1–3].

Одним із перспективних напрямів удосконалення післяремонтного обслуговування є застосування безгальмівної технологічної обкатки. Важливо зазначити, що поняття безгальмівної обкатки не означає виключно роботу двигуна на холостому ходу без навантаження. Сучасні технології передбачають створення необхідних навантажувальних режимів без використання традиційного зовнішнього гальмівного пристрою.

Одним із найбільш перспективних способів є динамічне навантаження двигуна на неусталених швидкісних режимах. Його сутність полягає у послідовному чергуванні періодів розгону та вибігу колінчастого вала. Під час розгону подача палива збільшується і частота обертання колінчастого вала зростає, а під час вибігу паливоподача зменшується або повністю припиняється. В результаті для навантаження деталей кривошипно-шатунного механізму використовуються власні інерційні та газові сили двигуна. Таким чином, забезпечуються змінні навантаження у спряженнях без необхідності поглинання потужності двигуна зовнішнім гальмом [1–3].

Особливе значення динамічне навантаження має для припрацювання деталей циліндро-поршневої групи та підшипників колінчастого вала. У процесі зміни частоти обертання змінюються швидкість переміщення поршня, сили інерції, тиск у циліндрах, товщина мастильної плівки та умови контакту поверхонь тертя. Це створює передумови для більш рівномірного формування робочої поверхні спряжень та поступового збільшення навантаження на деталі двигуна.

Якість припрацювання пари «поршневе кільце – гільза циліндра» має особливе значення для подальшої експлуатаційної надійності двигуна. Саме в процесі початкового припрацювання відбувається зміна мікрорельєфу поверхонь, зменшення їх шорсткості та формування фактичної площі контакту. Дослідження трибологічних процесів показують, що умови початкової обкатки впливають на подальший коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування та стабільність роботи трибосистем [1–3]. Тому режим обкатки повинен

забезпечувати контрольоване припрацювання без переходу до надмірного зношування, задирів чи локального перегрівання деталей.

До основних переваг безгальмівної обкатки можна віднести зменшення вартості технологічного обладнання, скорочення займаної виробничої площі, зниження матеріало- та енергоємності процесу, універсальність обладнання щодо різних типів двигунів, а також можливість часткової або повної автоматизації технологічного процесу. За результатами досліджень безгальмівної обкатки дизельних двигунів із динамічним навантаженням встановлено можливість забезпечення якості припрацювання, співставної з традиційною гальмівною обкаткою, при одночасному зменшенні експлуатаційних і капітальних витрат [1–3].

Важливою перевагою є також можливість проведення окремих етапів технологічної обкатки без демонтажу двигуна з автомобіля, трактора або іншої мобільної машини. Для ремонтних підприємств це дозволяє скоротити кількість монтажно-демонтажних операцій та загальну тривалість перебування техніки в ремонті. Переносні системи керування паливоподачею, датчики частоти обертання, температури, тиску моторної оливи та інше цифрове вимірювальне обладнання дають змогу формувати і контролювати необхідну програму обкатки без застосування масивного обкатувально-гальмівного стенда.

Значні перспективи має поєднання безгальмівної обкатки з автоматизованими системами діагностування. Зміна кутового прискорення колінчастого вала під час розгону та його сповільнення під час вибігу містить інформацію про механічні втрати у двигуні. У міру припрацювання деталей втрати на тертя змінюються, що може використовуватись як діагностичний критерій завершення обкатки. Такий підхід дозволяє перейти від обкатки за жорстко встановленою тривалістю до адаптивного технологічного процесу, тривалість якого визначається фактичним технічним станом конкретного двигуна.

Подальший розвиток технологій доцільно спрямувати на використання електронних систем керування режимами обкатки. До контрольованих параметрів повинні входити частота обертання колінчастого вала, величина та швидкість зміни кутового прискорення, температура охолоджувальної рідини й моторної оливи, тиск у системі мащення, витрата палива, температура відпрацьованих газів, параметри вібрації та, за необхідності, концентрація продуктів зношування в оливі. Комплексне використання цих параметрів дозволить підвищити інформативність контролю і своєчасно виявляти відхилення, пов’язані з дефектами ремонту чи складання.

Разом з тим широке впровадження безгальмівних технологій потребує подальшого наукового обґрунтування режимів для різних типів двигунів. Швидкість зміни частоти обертання, тривалість розгону і вибігу, максимальні та мінімальні частоти обертання, температурний режим і алгоритм паливоподачі повинні встановлюватися з урахуванням конструкції, робочого об’єму, потужності, способу сумішоутворення та виду виконаного ремонту.

Недотримання оптимальних режимів може призвести до надмірного теплового або механічного навантаження ще не припрацьованих деталей.

Отже, безгальмівна технологічна обкатка є перспективним напрямом удосконалення технологій ремонту двигунів внутрішнього згоряння. Найбільші перспективи цієї технології пов'язані з автоматизацією процесу, використанням переносних технічних засобів, цифровим контролем параметрів двигуна та визначенням моменту завершення обкатки за фактичними показниками механічних втрат і технічного стану. Подальші дослідження доцільно спрямувати на обґрунтування раціональних навантажувально-швидкісних режимів, створення універсальних технічних засобів та розроблення адаптивних алгоритмів керування процесом безгальмівної післяремонтної обкатки автотракторних двигунів.

Список використаних джерел

1. Aulin V., Zamota T., Hrynkiv A., Lysenko S., Chernovol M., Chernai A. Features of electrochemical-mechanical running-in of chrome-plated piston rings to the cast-iron surface of the cylinder liner under different friction modes. Problems of Tribology. 2019. Vol. 24, No. 3/93. P. 85–91. DOI: 10.31891/2079-1372-2019-93-3-85-91.

2. Khonsari M. M., Ghatrehsamani S., Akbarzadeh S. On the running-in nature of metallic tribo-components: A review. Wear. 2021. Vol. 474–475. Article 203871. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203871.

3. Miao C., Guo Z., Yuan C. Tribological behavior of co-textured cylinder liner-piston ring during running-in. Friction. 2022. Vol. 10. P. 878–890. DOI: 10.1007/s40544-021-0499-z.

УДК 539.3:536.5

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ТЕРМОПРУЖНО–ПЛАСТИЧНОМУ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Гончаренко О. О., Мамедов М. Р., Антощенков Р. В.
Державний біотехнологічний університет,
Ярошенко Б. М.
Полтавський державний аграрний університет

Розроблення та впровадження сучасних технологій зміцнення, відновлення і виготовлення деталей машин сприяє підвищенню їхньої експлуатаційної надійності, довговічності та працездатності. Одночасно застосування таких технологій дає змогу зменшити обсяги утилізації зношених деталей, раціональніше використовувати металеві матеріали та знизити негативний вплив виробничих процесів на навколишнє середовище. Особливого

значення набуває відновлення деталей, оскільки це дає можливість повторно використовувати значну частину металу, який за традиційної технології утилізації втрачається від 20 до 30 % під час переплавлення.

Сучасні засоби обчислювальної техніки широко застосовуються для двовимірного та тривимірного моделювання в системах автоматизованого проєктування, а також безпосередньо у виробничій практиці. Теоретичні та експериментальні дослідження в цій галузі сформували значну науково-технічну базу, яка постійно розширюється відповідно до розвитку цифрових технологій. Значні перспективи використання обчислювальних методів пов'язані також із математичним моделюванням технологічних процесів, зокрема процесів, характерних для машинобудівного виробництва [1-2].

Однією з основних передумов ефективного автоматизованого керування технологічним процесом є встановлення та ідентифікація факторів, які визначають умови його стабільного функціонування та впливають на кінцеві результати технологічної операції. Визначення таких факторів дає можливість обґрунтовано встановлювати керовані параметри процесу та формувати відповідні алгоритми автоматичного керування.

Для забезпечення стабільності заданих показників якості достатньо сформувати адекватну математичну модель, яка відображає функціональні залежності між показниками якості продукції та основними параметрами технологічного процесу, що визначають їх рівень. Отже, ефективність автоматизованого керування технологічними процесами із застосуванням обчислювальної техніки значною мірою визначається не лише постійним розширенням функціональних можливостей комп'ютерних систем, а й наявністю адекватних математичних моделей, здатних з достатньою точністю описувати закономірності перебігу відповідних технологічних процесів.

Практична реалізація математичних моделей передбачає розроблення відповідних рівнянь стану, їх експериментальну ідентифікацію та визначення параметрів, а також розроблення ефективних алгоритмів чисельного розв'язання. Для реалізації останнього етапу широко застосовується метод скінченних елементів, який дає змогу досліджувати напружено-деформований стан, теплові та інші фізичні процеси у складних технічних системах. [3].

Основним завданням математичного моделювання нових технологічних процесів є розроблення достовірних моделей за умови обмеженої кількості відомих фізичних параметрів та мінімального обсягу додаткових експериментальних досліджень. Такі моделі повинні забезпечувати можливість прогнозування результатів перебігу технологічних процесів, оцінювання впливу окремих технологічних факторів та, за необхідності, формування ефективних систем автоматизованого керування ними.

Математичне моделювання, яке може розглядатися як доповнення або альтернатива фізичному експерименту, набуває дедалі більшого значення в сучасному виробництві. Це зумовлено постійним ускладненням конструкцій машин, технологічних процесів та інженерних завдань, що потребують вирішення. Використання математичних моделей дає змогу підвищити

ефективність досліджень, скоротити тривалість технологічних випробувань та зменшити їхню матеріальну і фінансову складову.

Порівняно з проведенням реального експерименту математичне моделювання має низку суттєвих переваг. По-перше, застосування мат моделювання дає можливість зменшити витрати матеріальних, енергетичних та інших ресурсів, необхідних для підготовки і проведення фізичних випробувань. По-друге, дають змогу досліджувати функціонування технічних систем в екстремальних режимах, у тому числі за умов, які складно або практично неможливо відтворити під час фізичного експерименту. По-третє, моделювання забезпечує можливість оцінювання працездатності та довговічності систем, функціонування яких характеризується тривалими технологічними циклами - від декількох діб до місяців і років. При цьому моделювання дає змогу суттєво скоротити календарний час досліджень порівняно з реальними випробуваннями, наприклад під час аналізу повільних процесів нагрівання, охолодження, старіння (дослідження процесів нагріву на сотні градусів зі швидкостями нижче десятих часток градуса на годину) або зміни фізико-механічних властивостей матеріалів.

У практичній інженерній діяльності, зокрема під час моделювання технологічних процесів у машинобудуванні, переважно розглядаються моделі мікрорівня. На відміну від моделей макро- та метарівня, які можуть охоплювати сукупність технічних об'єктів, виробничих систем, а також організаційних, управлінських, економічних і соціальних структур, моделі мікрорівня орієнтовані на дослідження окремих технологічних операцій, процесів, конструктивних елементів та їх функціональних взаємозв'язків.

Процес математичного моделювання технологічних об'єктів доцільно розглядати як послідовність трьох взаємопов'язаних етапів:

1. Формування математичної моделі об'єкта дослідження. На цьому етапі визначаються основні параметри та змінні, встановлюються функціональні залежності між ними, формулюються відповідні математичні рівняння та граничні умови. При цьому модель повинна бути адекватною експериментальним або прогнозованим даним. У разі недостатності вихідної інформації розробляються додаткові підходи до визначення необхідних параметрів і побудови моделі.

2. Розроблення методів чисельного розв'язання математичної задачі. Визначаються відповідні математичні та чисельні методи, алгоритми розрахунку і способи їх програмної реалізації із застосуванням обчислювальної техніки. На цьому етапі забезпечується можливість практичного використання сформованої математичної моделі для проведення необхідних розрахунків.

3. Проведення математичного експерименту та аналіз отриманих результатів. У межах сформованої моделі здійснюється серія обчислювальних експериментів із варіюванням визначальних параметрів технологічного процесу. Отримані результати підлягають статистичній та інженерній обробці, аналізу й інтерпретації. За результатами аналізу, у разі необхідності, здійснюється коригування математичної моделі та повторне проведення розрахунків, що забезпечує зворотний зв'язок між етапами моделювання та підвищує

адекватність отриманих результатів.

Сукупність наведених вище робіт доцільно розглядати як комплексний процес математичного моделювання технологічних процесів. Завершальний етап такого моделювання не обмежується лише аналізом отриманих результатів, а може сприяти виявленню нових фізичних і технологічних закономірностей та ефектів. Це, своєю чергою, створює передумови для вдосконалення технологічних процесів, підвищення їх ефективності та зниження виробничих витрат. [4].

Розроблення сучасних технологій зміцнення, відновлення та виготовлення деталей машин базується на застосуванні широкого спектра технологічних методів обробки матеріалів. До них належать термопластичне деформування металів, оброблення металів тиском, термомеханічна та електромеханічна обробка, лазерна обробка поверхонь, електроіскрове легування, газотермічне напилення функціональних покриттів, дифузійна металізація, наплавлення, зварювання, паяння, термічні методи обробки, технології порошкової металургії, шліфування та інші способи формування й відновлення робочих поверхонь деталей.

У межах досліджень процесів відновлення деталей розроблено механіко-математичну модель відновлення деталей типу «порожнистий циліндр», виготовлених із залізовуглецевих сплавів, із використанням технології термопружнопластичного деформування (ТПД). Запропонована модель дає змогу досліджувати закономірності зміни напружено-деформованого стану матеріалу під час відновлювальної обробки та оцінювати технологічні параметри процесу.

Відновлення зношеної внутрішньої поверхні гільзи циліндра до номінального розміру ґрунтується на формуванні керованого температурного градієнта, який створюється послідовно та безперервно вздовж осі гільзи. Такий температурний вплив забезпечує необхідні умови для реалізації процесу термопружнопластичного деформування матеріалу та відновлення геометричних параметрів внутрішньої поверхні деталі. Для реалізації технологічного процесу застосовується спеціалізована установка, конструкція та режими роботи якої забезпечують формування заданого температурного поля і необхідних умов деформування гільзи.

Теоретичним завданням дослідження є розроблення математичної моделі, призначеної для опису розподілу напружень і температури, а також встановлення взаємозв'язку між ними в матеріалі, що зазнає фазових перетворень під час нагрівання та охолодження. У межах дослідження розглянуто два підходи до спільного формулювання рівнянь механічної рівноваги та енергетичного балансу.

Розроблена модель враховує напруження, зумовлені зміною об'єму матеріалу внаслідок фазового перетворення, а також теплові ефекти, пов'язані з виділенням або поглинанням теплоти під час зміни фазового стану. Відповідний тепловий ефект враховується у складі енергетичного рівняння як додатковий джерельний член.

Для математичного опису пружної та в'язкопластичної поведінки матеріалу використано визначальне в'язкопластичне співвідношення Боднера–Партона. Застосування цієї моделі не потребує явного задання поверхні текучості та дає змогу враховувати вплив деформаційної передісторії матеріалу, а також швидкості його деформування на поточний напружено-деформований стан.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

2. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., та ін. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. / За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 - 416с. ISBN 978-617-7634-01-9Том 1. 2018.

3. Скобло, Т. С., Сідашенко, О. І., Тіхонов, О. В., Гончаренко, О. О., Мартиненко, О. Д., Романюк, С. П., Рибалко, І. М. (2019). Застосування нанотехнологогій в машинобудуванні. Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів», (15), 19-30.

4. Лях І. М., Кляп М. М., Меренич Ю. Ю., Гончаренко О. О. “Моделювання пріоритетності факторів якості проєктування та дизайну вебзастосунків”. Інформатика. Культура. Техніка. 2026; Том 3 No 1 (3): 9–22. DOI: https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.01

УДК 621.791.92:004.8

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП’ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ НАПЛАВЛЕНИХ ПОКРИТТІВ

Горюнов Б. О., Титаренко В. Є.
Полтавський державний аграрний університет

Наплавлення є одним із поширених способів відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного, ударного та корозійно-механічного зношування. Формування на робочій поверхні шару матеріалу із заданими фізико-механічними властивостями дозволяє відновлювати геометричні параметри деталей та підвищувати їх зносостійкість. Якість наплавленого шару залежить від властивостей основного і присадного матеріалів, способу та режиму наплавлення, теплових умов процесу й інших технологічних факторів. Порушення оптимальних режимів може призводити до утворення тріщин, пор, підрізів, нерівномірності наплавленого шару та інших дефектів. Їх наявність здатна негативно впливати на експлуатаційні властивості та довговічність

відновленої деталі. Традиційний візуальний контроль значною мірою залежить від досвіду оператора і потребує витрат часу. Перспективним напрямом автоматизації контролю є застосування комп'ютерного зору та машинного навчання, які дозволяють аналізувати цифрові зображення поверхні, виявляти характерні ознаки дефектів та здійснювати їх автоматизовану класифікацію.

Методи комп'ютерного зору та машинного навчання активно розвиваються як засоби автоматизованого контролю якості зварних з'єднань і споріднених технологічних процесів. Використання цифрових зображень у поєднанні з алгоритмами їх обробки дозволяє автоматизувати пошук характерних ознак дефектів та зменшувати залежність результату контролю від суб'єктивної оцінки оператора [1, 2]. Особливе значення мають методи глибокого навчання, насамперед згорткові нейронні мережі, здатні автоматично формувати інформативні ознаки без необхідності їх повного ручного визначення. Сучасні алгоритми виявлення об'єктів можуть не лише встановлювати наявність певного дефекту, а й визначати його положення на зображенні [3]. Водночас результативність таких систем значною мірою залежить від якості та обсягу навчальних даних.

Застосування комп'ютерного зору для контролю наплавлених покриттів передбачає отримання цифрового зображення поверхні та його подальший автоматизований аналіз. Найпростішим джерелом інформації може бути цифрова камера, встановлена над контрольованою поверхнею. Важливими умовами є стабільність освітлення, достатня роздільна здатність зображення та правильне положення деталі відносно камери.

На першому етапі доцільно сформувати базу зображень наплавлених поверхонь, що містить як бездефектні ділянки, так і характерні поверхневі дефекти. Для кожного зображення або його фрагмента повинна бути відома відповідна категорія. У разі вирішення завдання локалізації додатково позначається положення дефекту на зображенні. Перед передаванням зображень алгоритму машинного навчання може виконуватися їх попередня обробка. Вона передбачає приведення зображень до однакового розміру, корекцію яскравості та контрастності, зменшення впливу цифрового шуму. Такі операції дозволяють знизити вплив випадкових факторів і виділити ознаки, що характеризують стан контрольованої поверхні. Для автоматизованого контролю можуть застосовуватися два основні підходи. Перший передбачає використання традиційних алгоритмів обробки зображень для виділення геометричних, текстурних або контрастних ознак із подальшою класифікацією методами машинного навчання. Як класифікатори можуть використовуватися метод опорних векторів, дерева рішень, Random Forest та інші алгоритми.

Другий підхід базується на глибокому навчанні. Згорткові нейронні мережі здатні автоматично визначати характерні ознаки поверхні без попереднього ручного формування їх набору. Залежно від поставленого завдання модель може класифікувати зображення як бездефектне або дефектне, визначати конкретний тип дефекту чи локалізувати його положення. Особливий інтерес для

автоматизованого контролю становлять алгоритми детекції об'єктів. Вони дозволяють аналізувати всю поверхню наплавленого шару та виділяти області, в яких виявлено ознаки певного дефекту. Такий підхід може бути корисним для подальшої автоматизації контролю деталей після виконання наплавлення.

Формування ефективної моделі потребує розподілу підготовлених даних на навчальну, валідаційну та тестову вибірки. Навчальна вибірка використовується для налаштування параметрів моделі, валідаційна – для контролю процесу навчання, а тестова – для незалежного оцінювання її здатності аналізувати нові зображення. Для оцінювання роботи системи доцільно використовувати не лише загальну точність класифікації. Важливими показниками є precision, recall та F1-міра. Для задач контролю якості особливе значення має здатність системи не пропускати фактичні дефекти, тому оцінювання моделі повинно враховувати співвідношення хибнопозитивних і хибнонегативних результатів.

Перспективним напрямом є поєднання візуальної інформації з технологічними параметрами процесу наплавлення. Наприклад, результати аналізу зображень можуть доповнюватися інформацією про силу струму, напругу, швидкість наплавлення, швидкість подавання електродного матеріалу та інші параметри. Це створює можливість не лише виявляти дефект після його формування, а й досліджувати зв'язок між режимом наплавлення та ймовірністю появи певного типу дефекту.

Водночас комп'ютерний зір має певні обмеження. Звичайне оптичне зображення дозволяє передусім оцінювати стан поверхні й не забезпечує надійного виявлення всіх внутрішніх дефектів наплавленого шару. Для їх контролю необхідне використання інших методів неруйнівного контролю. Тому системи комп'ютерного зору доцільно розглядати як інструмент автоматизації саме візуального контролю, який може доповнювати, але не повністю замінювати інші способи дефектоскопії.

Комп'ютерний зір та машинне навчання є перспективними засобами автоматизації контролю якості наплавлених покриттів. Їх застосування дозволяє здійснювати аналіз цифрових зображень поверхні, виявляти характерні ознаки дефектів, виконувати їх класифікацію та визначати положення дефектних ділянок. Найбільш перспективним є використання згорткових нейронних мереж та алгоритмів детекції об'єктів у поєднанні з формуванням спеціалізованих баз зображень наплавлених поверхонь. Подальші дослідження доцільно спрямувати на накопичення експериментальних даних для різних режимів наплавлення, навчання та порівняння моделей машинного навчання, а також встановлення взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу і появою характерних поверхневих дефектів.

Список використаних джерел

1. Mery D., Arteta C. Automatic Defect Recognition in X-Ray Testing Using Computer Vision. *2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. 2017. P. 1026–1035. DOI: 10.1109/WACV.2017.119.
2. Hou W., Wei Y., Guo J., Jin Y., Zhu C. Automatic Detection of Welding Defects using Deep Neural Network. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 933. Article 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/933/1/012006.
3. Zhang J., Li P.-H., Zhang M.-X., Shen K.-H., Xing Y.-Z. A review of algorithms for surface defect detection in welds based on machine learning. Expert Systems with Applications. 2026. Vol. 299, Part C. Article 130188. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.130188.
4. Geng P., Xia Y., Dong Z., Men B., Pan B., Shao C., Li Y., Li J. Machine learning applications in welding processes: Progresses and opportunities. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2025. Vol. 213. Article 104344. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2025.104344.

УДК 631.3:004.8:62-7

КОНЦЕПЦІЯ ПРЕДИКТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН НА ОСНОВІ ДАНИХ БОРТОВИХ СИСТЕМ

Горюнов Б. О.
Полтавський державний аграрний університет

Ефективність використання сільськогосподарської техніки значною мірою залежить від її надійності, технічної готовності та своєчасного проведення технічного обслуговування. Особливого значення ці фактори набувають під час сезонних польових робіт, коли незаплановані простої машин можуть спричиняти порушення агротехнічних строків, збільшення експлуатаційних витрат і зниження продуктивності машинно-тракторного парку.

Традиційні системи технічного обслуговування переважно ґрунтуються на встановлених інтервалах напрацювання або календарних строках. Однак такий підхід не завжди враховує фактичний стан вузлів, інтенсивність навантажень та індивідуальні умови експлуатації техніки.

Сучасні трактори, комбайни та інші самохідні сільськогосподарські машини оснащуються електронними блоками керування, датчиками та бортовими діагностичними системами. Накопичення й аналіз отриманої інформації створюють передумови для впровадження предиктивного технічного обслуговування, яке передбачає прогнозування можливих несправностей і визначення раціональних строків проведення сервісних операцій.

Теоретичні основи технічного обслуговування за фактичним станом обладнаннябуло розглянуто та систематизовано методи діагностування і прогнозування технічного стану машин [1]. Також було проаналізовано можливості застосування машинного навчання для предиктивного обслуговування промислового обладнання [2]. Методологічні підходи до обробки, передавання та представлення діагностичної інформації визначено стандартом ISO 13374-1:2003 [3]. Зазначені дослідження та нормативні положення створюють основу для розроблення інтелектуальних систем технічного сервісу сільськогосподарської техніки.

Предиктивне технічне обслуговування передбачає використання експлуатаційних даних для виявлення ознак погіршення технічного стану машин і прогнозування можливих несправностей. На відміну від регламентованого обслуговування, такий підхід дозволяє враховувати фактичні режими роботи обладнання та зміну його діагностичних параметрів. Основними джерелами інформації можуть бути електронні блоки керування двигуном, трансмісією, гідравлічною системою та іншими компонентами машини. До інформативних параметрів належать частота обертання колінчастого вала, температура охолоджувальної рідини, тиск мастила, навантаження двигуна, витрата пального, температура трансмісійної оливи, мотогодини та діагностичні коди несправностей.

Концептуальна структура системи предиктивного обслуговування передбачає послідовне виконання таких етапів: збирання експлуатаційних даних, їх передавання та накопичення, попередню обробку, аналіз технічного стану, прогнозування несправностей і формування сервісних рекомендацій.

На першому етапі дані надходять від бортових датчиків та електронних блоків керування. За наявності телематичного обладнання інформація може передаватися до віддаленої системи моніторингу, що забезпечує можливість централізованого контролю технічного стану машинно-тракторного парку.

Наступним етапом є підготовка даних до аналізу, яка передбачає перевірку їх достовірності, усунення помилкових значень, синхронізацію показників та врахування умов експлуатації. Це необхідно, оскільки зміна окремих діагностичних параметрів може бути зумовлена не лише розвитком несправності, а й особливостями поточного навантаження. Для аналізу отриманої інформації можуть застосовуватися статистичні методи та алгоритми машинного навчання. Регресійні моделі дозволяють прогнозувати зміну контрольованих параметрів, тоді як дерева рішень, Random Forest та інші алгоритми класифікації можуть використовуватися для виявлення характерних ознак несправностей.

Перспективним напрямом є прогнозування залишкового ресурсу окремих компонентів машини. За наявності достатнього обсягу експлуатаційних даних і підтверджених випадків відмов можуть формуватися моделі, здатні оцінювати ймовірність виникнення несправностей або очікуване напрацювання до досягнення граничного технічного стану. Практичне використання предиктивної

системи може передбачати автоматизоване формування повідомлень про виявлені відхилення, необхідність додаткового діагностування або наближення рекомендованого строку обслуговування. Така інформація може використовуватися інженерно-технічною службою для планування ремонтних робіт, підготовки запасних частин та узгодження сервісних операцій із графіком польових робіт.

Важливою перевагою запропонованого підходу є можливість індивідуального оцінювання технічного стану кожної машини. Врахування інтенсивності навантаження, тривалості роботи та умов експлуатації створює передумови для більш обґрунтованого планування технічного обслуговування.

Водночас упровадження предиктивних технологій обмежується недостатньою кількістю достовірних даних про відмови, відмінностями електронного оснащення машин та складністю інтеграції інформаційних систем. Крім того, не всі несправності можуть бути спрогнозовані за стандартними бортовими параметрами. Тому предиктивне обслуговування доцільно розглядати як доповнення до регламентованих сервісних операцій і традиційного технічного діагностування.

Отже, предиктивне технічне обслуговування є перспективним напрямом удосконалення системи технічного сервісу сільськогосподарських машин. Використання даних бортових електронних систем, телематичних технологій та алгоритмів машинного навчання створює передумови для своєчасного виявлення ознак несправностей, прогнозування технічного стану та раціонального планування сервісних операцій.

Список використаних джерел

1. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. Vol. 20, No. 7. P. 1483–1510. DOI: 10.1016/j.ymssp.2005.09.012.

2. Carvalho T. P., Soares F. A. A. M. N., Vita R., Francisco R. da P., Basto J. P., Alcalá S. G. S. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 137. Article 106024. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106024.

3. ISO 13374-1:2003. *Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 1: General guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization, 2003.

УДК 631.3:621.791.92:004.8

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Горюнов Б.О., Борова Я.О.
Полтавський державний аграрний університет

Довговічність сільськогосподарських машин значною мірою визначається технічним станом деталей, які працюють в умовах абразивного, ударно-абразивного та корозійно-механічного зношування. Особливо інтенсивного зношування зазнають робочі органи ґрунтообробних машин, деталі транспортуючих пристроїв та іншого технологічного обладнання. Зміна геометричних параметрів робочих поверхонь погіршує якість виконання технологічних операцій та зумовлює необхідність заміни або відновлення деталей. Одним із поширених способів відновлення та зміцнення є наплавлення, що дозволяє сформувати поверхневий шар із необхідними експлуатаційними властивостями. Довговічність відновленої деталі залежить від складу основного та наплавного матеріалів, параметрів режиму наплавлення, структури, твердості, геометрії та дефектності сформованого шару, а також умов подальшої експлуатації. Значна кількість взаємопов’язаних факторів ускладнює прогнозування ресурсу традиційними методами. Перспективним напрямом вирішення цього завдання є застосування машинного навчання, яке дозволяє встановлювати складні залежності між параметрами технологічного процесу та показниками зносостійкості.

Методи машинного навчання застосовуються для прогнозування втрат від зношування покриттів, отриманих плазмово-дуговим наплавленням, на основі експериментальних даних про їхні властивості та умови випробувань [1, 2]. Для встановлення залежностей між вхідними технологічними параметрами та характеристиками матеріалу можуть використовуватися регресійні моделі, дерева рішень, ансамблеві алгоритми та штучні нейронні мережі. Окремий напрям досліджень пов’язаний із прогнозуванням трибологічних характеристик матеріалів і покриттів. Показано можливість застосування моделей машинного навчання для прогнозування інтенсивності зношування покриттів за їх складом, механічними властивостями та умовами роботи [3]. Це створює передумови для використання аналогічних методів під час оцінювання довговічності наплавлених деталей сільськогосподарських машин.

Прогнозування довговічності наплавленої деталі є багатофакторним завданням. На властивості сформованого шару впливають технологічні параметри наплавлення, характеристики основного та присадного матеріалів, тепловий режим, геометрія шару та подальша механічна або термічна обробка. Під час експлуатації додаткового впливу набувають характер навантаження, властивості абразивного середовища, температура, вологість та інші фактори.

Перевагою машинного навчання є можливість формування прогнозної моделі на основі накопичених експериментальних даних без необхідності попереднього задавання точної математичної залежності між усіма змінними. Модель навчається на наборі даних, для якого відомі параметри технологічного процесу та фактичні результати випробувань. До вхідних параметрів такої моделі доцільно включати силу струму, напругу дуги, швидкість наплавлення, швидкість подавання електродного матеріалу, кількість шарів та інші характеристики технологічного режиму. Важливою групою параметрів є характеристики основного і наплавного матеріалів, зокрема їх хімічний склад та вміст легувальних компонентів.

Інформаційність моделі може бути підвищена за рахунок використання характеристик уже сформованого шару: твердості та мікротвердості, товщини, особливостей структури, геометричних параметрів і наявності дефектів. Таким чином, прогноз може формуватися на основі комплексного набору технологічних і матеріалознавчих показників. Як цільовий параметр машинного навчання може використовуватися інтенсивність зношування, втрата маси під час випробувань, зміна геометричних розмірів або напрацювання до досягнення граничного стану. Вибір показника повинен відповідати умовам експлуатації конкретної деталі. Для прогнозування можуть застосовуватися різні алгоритми. Регресійні моделі є доцільними як базовий засіб визначення кількісних залежностей. Дерева рішень та ансамблеві методи, зокрема Random Forest і Gradient Boosting, дозволяють аналізувати складні нелінійні взаємозв’язки між значною кількістю факторів. Штучні нейронні мережі також мають значний потенціал, однак для їх ефективного використання необхідна достатня кількість якісних навчальних даних.

Важливою перевагою окремих методів машинного навчання є можливість визначення значущості вхідних факторів. Це дозволяє встановити, які параметри режиму наплавлення або характеристики сформованого шару найбільше впливають на прогнозований показник довговічності. Така інформація має практичне значення під час обґрунтування раціональних технологічних режимів відновлення деталей. У перспективі машинне навчання може застосовуватися не лише для прогнозування зносостійкості, а й для оптимізації процесу наплавлення.

Водночас машинне навчання не може повністю замінити експериментальні дослідження. Точність прогнозу безпосередньо залежить від обсягу, достовірності та репрезентативності вихідних даних. Модель, сформована для певного матеріалу та способу наплавлення, потребує додаткової перевірки перед використанням для інших матеріалів або умов роботи. Тому найбільш перспективним є поєднання традиційних експериментальних методів дослідження з цифровим аналізом отриманих результатів [4].

Методи машинного навчання є перспективним інструментом прогнозування довговічності деталей сільськогосподарських машин, відновлених наплавленням. Для формування прогнозних моделей можуть використовуватися технологічні параметри наплавлення, характеристики

матеріалів, твердість, структура і геометричні параметри сформованого шару та результати випробувань на зношування. Найбільш перспективним є застосування регресійних моделей, дерев рішень, ансамблевих алгоритмів та штучних нейронних мереж. Практична цінність такого підходу полягає у можливості прогнозування зносостійкості, визначення найбільш впливових технологічних факторів та обґрунтування раціональних режимів відновлення деталей. Подальші дослідження доцільно спрямувати на формування експериментальних баз даних для конкретних груп деталей сільськогосподарських машин та перевірку точності різних алгоритмів машинного навчання.

Список використаних джерел

1. Altay O., Gurgenc T., Ulas M., Özel C. Prediction of wear loss quantities of ferro-alloy coating using different machine learning algorithms. Friction. 2020. Vol. 8. P. 107–114. DOI: 10.1007/s40544-018-0249-z.

2. Ulas M., Altay O., Gurgenc T., Özel C. A new approach for prediction of the wear loss of PTA surface coatings using artificial neural network and basic, kernel-based, and weighted extreme learning machine. Friction. 2020. Vol. 8. P. 1102–1116. DOI: 10.1007/s40544-017-0340-0.

3. Kang J., Niu Y., Zhou Y., Fan Y., Ma G. Wear Resistance Prediction of AlCoCrFeNi-X (Ti, Cu) High-Entropy Alloy Coatings Based on Machine Learning. *Metals*. 2023. Vol. 13, No. 5. Article 939. DOI: 10.3390/met13050939.

4. Geng P., Xia Y., Dong Z., Men B., Pan B., Shao C., Li Y., Li J. Machine learning applications in welding processes: Progresses and opportunities. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2025. Vol. 213. Article 104344. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2025.104344.

УДК 631.3:621.226

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОЦИЛІНДРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Гречка Є. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасні сільськогосподарські машини характеризуються широким використанням гідравлічних приводів, які забезпечують керування робочими органами, регулювання технологічних параметрів та виконання значного комплексу допоміжних операцій. Одним із основних виконавчих елементів таких систем є силовий гідроциліндр, технічний стан якого безпосередньо впливає на функціональну працездатність машинно-тракторного агрегату.

Заміна всього гідроциліндра у разі виникнення дефекту не завжди є економічно доцільною. Тому актуальним завданням технічного сервісу є розроблення та вибір раціональних технологій відновлення, які забезпечують необхідну довговічність деталей при мінімальних витратах матеріалів, енергії та трудових ресурсів.

Аналіз останніх досліджень. Традиційний ремонт гідроциліндрів передбачає заміну ущільнювальних елементів, зокрема манжет, кілець і напрямних втулок. Такий спосіб є технологічно простим та доцільним у випадках, коли шток, гільза та інші базові деталі зберігають необхідні геометричні параметри та якість робочих поверхонь [1, 2].

Альтернативою ремонту може бути заміна зношених штоків або гільз новими деталями з відповідною поверхневою обробкою. Такий підхід дозволяє наблизити ресурс відремонтованого агрегату до ресурсу нового виробу, однак супроводжується значними матеріальними витратами [3].

Сучасні дослідження ущільнювальних систем підтверджують, що довговічність гідроциліндра значною мірою визначається правильним поєднанням матеріалу ущільнення, геометрії контактної зони, шорсткості поверхні та режиму роботи [4].

Таким чином, сучасна концепція технічного сервісу поступово переходить від ремонту за фактом відмови до діагностично обґрунтованого відновлення, за якого технологія ремонту визначається фактичним станом конкретної деталі.

Мета досліджень. Метою роботи є обґрунтування раціональних технологій відновлення силових гідроциліндрів сільськогосподарської техніки з урахуванням характеру дефектів, технічного стану деталей, технологічних можливостей ремонтного виробництва та вимог до подальшої експлуатаційної надійності.

Результати досліджень. Аналіз технологій ремонту показав, що вибір способу відновлення доцільно здійснювати за результатами попередньої дефектації гідроциліндра. При цьому необхідно оцінювати стан штока, гільзи, поршня, ущільнювальних та напрямних елементів, а також характер і величину пошкоджень робочих поверхонь.

Для гідроциліндрів із працездатними металевими поверхнями та зношеними ущільненнями найбільш раціональним є заміна ремонтного комплекту. Такий ремонт має невисоку трудомісткість і не потребує складного технологічного обладнання.

Залежно від величини дефекту можуть застосовуватися механічна обробка, нанесення металевого шару з подальшим шліфуванням, газотермічне чи плазмове напилення, а для локальних дефектів – полімерні композиційні матеріали.

Важливим фактором довговічності є стан ущільнювального вузла. Сучасні дослідження показують, що зношування ущільнень може мати абразивний, адгезійний, втомний або фретинг-механізм, а на інтенсивність зношування

впливають температура, амплітуда переміщення, властивості робочої рідини та шорсткість поверхні.

Тому при відновленні гідроциліндра необхідно розглядати шток і ущільнення як єдину трибологічну систему. Недостатня якість поверхні штока може прискорити зношування нової манжети, тоді як неправильно підібраний матеріал ущільнення може спричинити підвищене тертя, нагрівання та втрату герметичності.

На цій основі доцільно запропонувати структурно-логічну схему вибору технології ремонту:

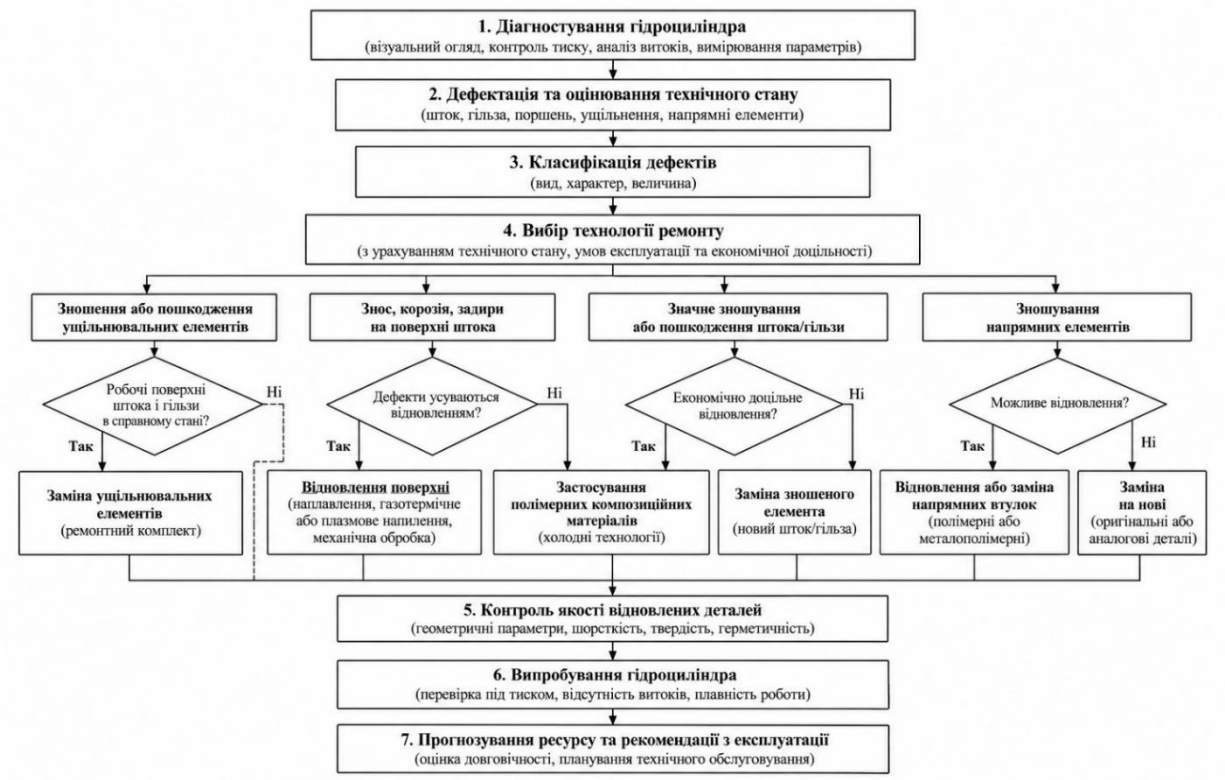


Рис. 1. Структорно-логічна схема вибору технології ремонту гідроциліндра сільськогосподарської техніки

Такий підхід дозволяє уникнути необґрунтованої заміни дорогих деталей і одночасно не допускати встановлення ущільнень на поверхні, яка вже не відповідає вимогам щодо геометрії та шорсткості.

Отже, раціональна технологія відновлення повинна визначатися не лише видом дефекту, а комплексом технічних, технологічних та економічних чинників. Для ремонтних підприємств аграрного сектору особливого значення набувають технології, які не потребують надмірно складного обладнання, мають невисоку енергоємність та забезпечують прогнозований ресурс відновленої деталі.

Висновки.

Встановлено, що основними причинами втрати працездатності силових гідроциліндрів є зношування ущільнювальних і напрямних елементів, пошкодження робочих поверхонь штоків та гільз, корозія, задири й порушення герметичності.

Вибір технології відновлення повинен здійснюватися за результатами дефектації та враховувати величину й характер пошкодження, матеріал деталі, умови експлуатації, доступне ремонтне обладнання та необхідний ресурс.

Для зношених металевих поверхонь доцільним є застосування напилення або інших технологій нанесення відновлювального шару з наступною механічною обробкою. Для локальних дефектів перспективними є полімерні композиційні матеріали, які дозволяють мінімізувати тепловий вплив на основу.

Довговічність гідроциліндра необхідно оцінювати як результат взаємодії матеріалу штока, якості його поверхні, конструкції ущільнювального вузла, матеріалу ущільнення та параметрів робочої рідини. Сучасні дослідження підтверджують важливість оптимізації саме цієї системи.

Список використаних джерел

1. Sherman D. Interlaminar fracture and debonding in metal–composite joints. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2000. Vol. 31, No. 9. P. 991–1003. DOI: 10.1016/S1359-835X(00)00051-0.

2. Zhang Y., Yang X., Wang S. et al. Research status and prospect of wear and aging on hydraulic rubber sealing materials. Plastics, Rubber and Composites. 2023. Vol. 52, No. 5. P. 249–266. DOI: 10.1080/14658011.2023.2197677.

3. Deaconescu A., Deaconescu T. Optimum Design of Coaxial Hydraulic Sealing Systems Made from Polytetrafluoroethylene and Its Compounds. Coatings. 2024. Vol. 14, No. 6. 723. DOI: 10.3390/coatings14060723.

4. Kumar P., Park S., Zhang Y. et al. A Review of Hydraulic Cylinder Faults, Diagnostics, and Prognostics. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2024. Vol. 11. P. 1637–1661. DOI: 10.1007/s40684-024-00639-3.

УДК 621.43.019.

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНОЇ ДВОФАЗНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ В ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ДВИГУНІ

Дацюк Д. А.
Вінницький національний аграрний університет

Одним із напрямів підвищення енергетичної автономності підприємств агропромислового комплексу є використання локальних відновлюваних енергетичних ресурсів у системах генерації електричної та теплової енергії. Особливої актуальності цей напрям набуває для тваринницьких комплексів, де значна частина енергії може бути отримана за рахунок використання біомаси та продуктів її перероблення.

Перспективним складом такої суміші є поєднання трьох рідких компонентів – дизельного палива, біодизельного палива та біоетанолу – із газоподібним біометаном. У результаті формується двофазна система, у якій властивості рідкої та газової складових взаємодіють безпосередньо в процесі сумішоутворення та згоряння.

Метою роботи є теоретичне дослідження процесу згоряння чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші та визначення основних чинників, які впливають на ефективність роботи газодизельного двигуна за різних режимів навантаження.

Процес роботи двигуна на багатокомпонентному паливі доцільно розглядати як послідовність взаємопов’язаних етапів: формування паливної суміші, її подача до робочої зони, сумішоутворення, займання, розвиток процесу згоряння, тепловиділення та перетворення енергії згоряння у механічну роботу. Зміна складу суміші на кожному режимі роботи може змінювати перебіг цих процесів[1].

Рідка фаза суміші формується на основі дизельного палива, біодизельного палива та біоетанолу. Газова складова представлена біометаном. Зміна частки кожного компонента може впливати на властивості палива, умови займання, інтенсивність тепловиділення та стабільність робочого процесу. Тому для адаптивної системи керування важливо встановити зв’язок між складом суміші, режимом роботи двигуна та його вихідними енергетичними показниками.

Зі збільшенням частки газового компонента змінюється співвідношення між рідкою та газовою фазами. Водночас зміна часток дизельного палива, біодизеля та біоетанолу впливає на характеристики рідкої фази. Тому одним із завдань математичного моделювання є пошук таких співвідношень компонентів, за яких забезпечуються стабільне займання, достатня інтенсивність тепловиділення та необхідна потужність.

Для різних режимів роботи двигуна пріоритетними можуть бути різні показники. На малих навантаженнях важливими є стабільність займання та повнота згоряння. На середніх навантаженнях основну увагу слід приділяти стабільності процесу тепловиділення та економічності. На номінальних і високих навантаженнях особливого значення набувають потужність, температура робочого процесу та допустимий рівень теплових навантажень.



Рис. 1. Структурна схема процесу формування та згоряння чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші

Таблиця 1 – Основні фактори, що враховуються під час дослідження

Фактор	**Що змінюється**	**Очікуваний вплив**
Склад рідкої фази	Співвідношення дизельного палива, біодизеля та біоетанолу	Фізико-хімічні властивості та характер згоряння
Частка біометану	Співвідношення газової та рідкої складових	Умови сумішоутворення і тепловиділення
Навантаження двигуна	Потреба в паливі та потужності	Інтенсивність робочого процесу
Частота обертання	Тривалість окремих етапів робочого циклу	Динаміка теплових процесів
Подача палива	Кількість енергії, що надходить у циліндр	Температура та інтенсивність згоряння
Умови роботи системи	Керування складом і подачею суміші	Стабільність та економічність роботи

Наведена таблиця узагальнює основні параметри, які доцільно включати до майбутньої комп'ютерної моделі. Їх комплексне врахування дозволить перейти від окремого дослідження властивостей компонентів до оцінювання роботи всієї паливної системи у складі енергетичного агрегату.

Перспективним напрямом подальшого дослідження є проведення серії розрахункових експериментів для різних співвідношень компонентів та режимів навантаження. Результати таких розрахунків можуть бути представлені у вигляді залежностей температури, швидкості тепловиділення, витрати палива та потужності від складу суміші [2]. Отримані залежності можуть використовуватися адаптивною системою керування для вибору режиму роботи двигуна відповідно до поточного енергетичного навантаження.

Розглянуто теоретичні особливості процесу згоряння чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші, сформованої з дизельного палива, біодизельного палива, біоетанолу та біометану. Визначено основні фактори, які необхідно враховувати під час дослідження процесу згоряння: склад суміші, співвідношення фаз, навантаження, частоту обертання та параметри подачі палива.

Запропонована структурна схема та система факторів можуть бути використані як основа для подальшого комп'ютерного моделювання. Наступним етапом має стати отримання кількісних залежностей між складом суміші, тепловими процесами та енергетичними показниками газодизельного двигуна.

Список використаних джерел

1. Shtuts A., Gaydamak O., Ryaboshapka V., Lysenko R. Comprehensive analysis of physico-chemical and operational properties of alternative fuel mixtures based on bioethanol, diesel and biodiesel fuel in electrical technologies of bioenergy systems of enterprises. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2025. № 2(117). С. 131–140.

2. Lysenko R. Mathematical simulation of the working process of the gas-diesel cycle in the cylinders of the Powertech 6068HF250 engine. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2024. № 2(113). С. 127–131.

УДК 167.7:620.178:631.3.02

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВУЗЛІВ, АГРЕГАТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН І АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

Денисенко М.І.
ВСП «Немішаївський фаховий коледж НУБіП України»,
Дев'ятко О.С.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Формування різносторонніх конструкцій робочих органів сільськогосподарської техніки у тому числі й роботи по ремонту разом з відновленням передбачають необхідність застосовувати композитні порошкові матеріали та покриття, які володіють високими фізико-механічними властивостями.

Аналіз останніх досліджень. Наразі, крім, використання запропонованих понад 120 відомих методів по поверхневому зміцненню, які займають провідне місце, як і звичні прийоми хіміко-термічного обробітку, загартування СВЧ, електролітичних покриттів а також різноманіття за видами наплавлення формуються новітні технологічні пропозиції, що базуються на вжиткові джерел, які містять високу концентрацію енергії (лазерне зміцнення, іонно-плазмові методи, детонаційне напилювання, електроіскрове легування композиційних покриттів) та інші методи. [1]

Поширене використання в машинобудуванні й других сферах набули саме тверді сплави з карбіду вольфраму (WC). Зазначений матеріал є хімічною сполукою з вуглецю та вольфраму, що є керамікою. Цей сплав за твердістю є одним з передових серед відомих, в порівнянні з титаном він в 4 рази твердіший, у 6 разів перевищує сталь й прирівняти його можливо лише з алмазом. Сільськогосподарська техніка, що є на ринку, наприклад, кормозбиральні комбайни іноземного виробництва, містить у своєму складі ротори з ножами, які за своєю конструкцією захищають останній від перевантаження, однак, конструктивна форма зміцнених ножів містить лінію зламу, за якою відбувається руйнація у випадку потрапляння великих міцних об'єктів. В свою чергу протирізальна пластина, яка має покриття вольфраму і монтується іншою робочою крайкою утворює конструкцію у такий спосіб, що дозволяє підвищити істотно термін служби.

Відомо, що під час виконання технологічних операцій робочі органи сільськогосподарської техніки а особливо їх поверхневі шари зазнають посиленого абразивного зношування, що спричиняє можливість передчасного виходу з ладу такою одиниці робочого обладнання.

Таким чином виникає необхідність забезпечити можливість усунути появу наведених недоліків шляхом зниження динамічних навантажень на поверхню

робочого органу машини, що досягається можливостями формування зносостійкого покриття, яке матиме високі показники ударної в'язкості.

Мета досліджень. Підвищення надійності, довговічності та ресурсу робочих органів машин для тваринництва і рослинництва шляхом використання композитних порошкових матеріалів і покриттів.

Результати досліджень. Визначальною ознакою при конструюванні машин для агропромислового комплексу з застосуванням методів інженерії поверхні є перспективи мати опцію зміни властивості конструкційних матеріалів. Порошкові матеріали, які мають нерівноважену структуру підкреслюють їх міцну пластичну металеву матрицю, а рівномірний розподіл в ній твердих включень тугоплавких з'єднань в кількості 15-20% надають підвищеної міцності та зносостійкості при виконанні технологічної операції таким робочим органом. Недоліком використання наведеного вище матеріалу є його низька стійкість до корозії.

Застосування карбідосталей, що займають, за ознакою середню позицію між твердими сплавами та інструментальними сталями є досить поширеними за вжитком. Однак, застосування відомих рішень передбачає необхідність пошуку покращення, що пропонують карбідосталь на основі феритно-мартенситного класу. Зазначене формування за вмістом складається з мінімальної кількості цінних і дефіцитних легуючих елементів за значних корозійних впливів, такий вид добре піддається гарячому штампуванню й гартуванню. В якості твердих домішок додано вищий карбід хрому Cr3C2, адже відомо, що сплави за їх участі володіють високою стійкістю до корозії в розчинах кислот та лугів.

Саме сплави «хромиста сталь – карбід хрому» поруч з високою твердістю і зносостійкістю володіють підвищеними характеристиками міцності. Виконані дослідження щодо впливу температури спікання на структуру і властивості зразків карбідосталі на основі хромистої сталі з домішками карбіду бору. За результатами зазначених випробувань, що виконувалися у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» на молотках кормоприготувальної установки БМК – 1, які були армовані модульними пластинами зі експериментального сплаву Х13М2 – Cr3 C2 - B4 C доведено підвищення зносостійкості а також терміну служби до трьох разів більше за термін служби аналогічних серійних молотків зі сталі 65Г. (рис.1) [2].

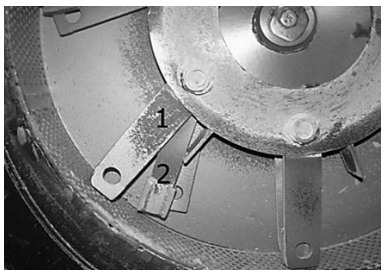


Рис.1. Ротор з молотками дробарки БМК-1:
1 – серійні, 2 – експериментальні зі вставками з Х13М2-Cr3C2-B4C;
Наробіток – 800 тон на одну грань

Слід відмітити, що молоток кормоприготувальної установки БМК-1 – являє собою сталеву прямокутну пластину, де робочі грані якої армуються шляхом електрозварювання у середовищі вуглекислого газу, модульними пластинами зі зносокорозійностійкого матеріалу Х13М2 – Cr3 C2 - B4 C. Таким чином, визначено, що одним з результативних методів підвищення стійкості деталей до абразивного і корозійного руйнування полягає у використанні для їх виготовлення порошкових кераміко-металевих матеріалів з гетерогенною структурою, в тому числі модульних армуючих вставок зі твердих сплавів, наплавок та покриттів з них.

Застосування «точкового зміцнення», тобто дугового точкового зварювання (ДТЗ) для поверхонь швидкозношуваних робочих органів (лапи культиваторів, леміші плугів, диски борін, молотки кормодробарок, траки гусениць, долота сошників та інші деталі), передбачає поєднання самозахисного порошкового дроту (типу ПП – АН170, ПП – АН170М, ПП – АН170М2, ПП – АН148 та інших марок товщиною (діаметром) 1,2 – 3,2 мм) для здійснення процесу механізованого зварення в захисному газі та відкритою дугою. Найбільш ефективним наведений процес виконання саме для польових умов.

Оптимальну крапку зміцнення (висота головки) встановлюють в залежності від функціонального призначення робочого органу сільськогосподарської машини. При крапковому зміцненні (ДТЗ) деталей головною умовою, яка гарантує стабільну якість зміцнення вважається узгодженість величини зварного струму та напруги дуги. В залежності від етапу ДТЗ, товщини з'єднуваних деталей та діаметру порошкового дроту параметри точкового зварення приймаються наступними: сила зварного струму 150 – 800А, напруга на дузі 30 – 50В, швидкість подавання порошкового дроту 30 – 700 м/год, час виконання роботи 0,5 – 3,0 с. Зварний струм має найбільший вплив на формоутворення крапки зміцнення.

Висновки. Застосування безвольфрамових твердих сплавів і порошкових композиційних матеріалів дозволяє підвищити в рази термін служби швидкозношуваних деталей і робочих органів сільськогосподарських машин у порівнянні з деталями з вуглецевих та інструментальних сталей. Серед великої кількості розробок у цьому напрямі важливе місце посідають нові сплави, нові композитні матеріали і покриття та методи їх з'єднання, технології виробництва нанопорошків, вуглецеві матеріали, нано кристалічні сплави на основі міді і заліза.

Список використаних джерел

1. Шамрай В.Б. Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, 2025. 173 с.

2. Денисенко М.І., Зазимко О.В., Лабунець В.Ф. Дослідження поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин. Проблеми тертя та зношування .Київ. 2016. №1 (70). С. 150-153.

УДК 621.77.01

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК МЕТОДОМ РОЗДАЧІ

Іванкова О.В., Алфьоров О.О., Дремлюженко О.М.
Полтавський державний аграрний університет

Сучасні технології поверхневого зміцнення забезпечують формування покриттів і модифікованих шарів із підвищеними експлуатаційними властивостями, що сприяє збільшенню довговічності та надійності деталей автотракторної й сільськогосподарської техніки [1]. Їх застосування дає змогу знизити витрати на ремонт і технічне обслуговування та підвищити ефективність використання матеріальних і енергетичних ресурсів [2].

Аналіз літературних джерел показує, що дослідження пластичного деформування переважно спрямовані на зміцнення деталей під час виготовлення [1, 3], тоді як його застосування для відновлення геометричних параметрів і експлуатаційних властивостей зношених деталей залишається недостатньо вивченим.

Проаналізовано сучасні способи відновлення деталей, зокрема механічні, наплавлювальні, електрофізичні та деформаційні технології (рис. 1).



Рис. 1 – Методи та способи відновлення деталей гідронасосів

Перспективними є технології пластичного деформування, які забезпечують відновлення геометричних параметрів і зміцнення поверхневого шару деталей завдяки перерозподілу матеріалу під дією навантаження. Їхні основні переваги - простота реалізації та мінімальні витрати додаткового металу.

Експерименти проводилися на зразках – моделях [4] (l = 13 мм; D = 50 мм; d= 29,55…29,70 мм.), виготовлених з бронзи БрАЖ-9-4 (рис.2). Деформування проводилося пуансонами, виготовленими з інструментальної сталі У8.

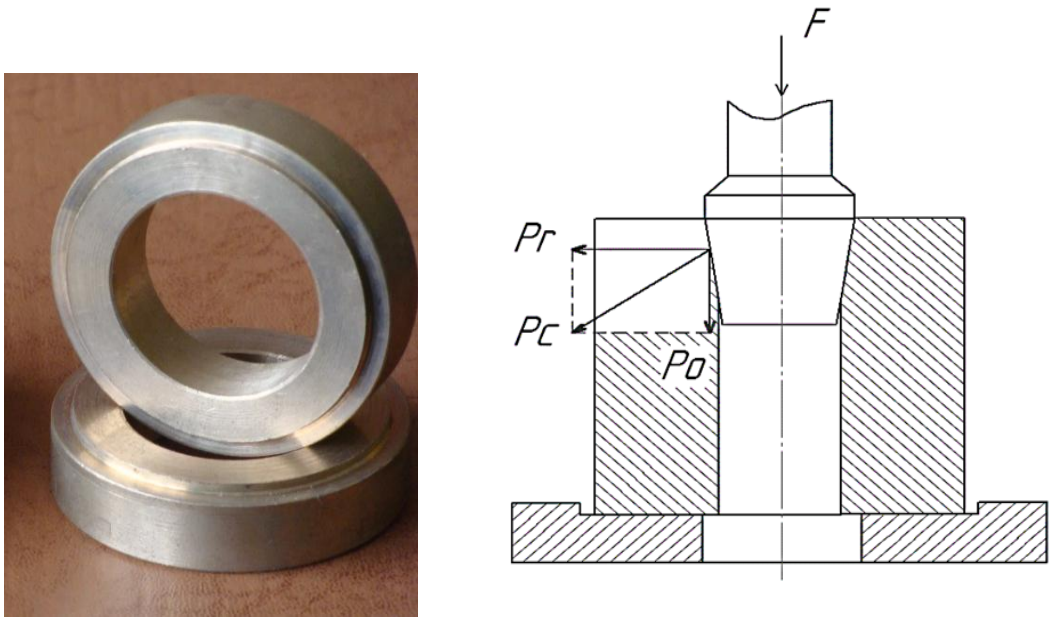


Рис. 2 – Втулки – моделі (а), схема процесу роздачі втулки (б) [4]

Вимірювання внутрішнього та зовнішнього діаметрів зразків показали, що після оброблення внутрішній діаметр дещо перевищує діаметр калібрувальної частини пуансона. Це пояснюється переміщенням матеріалу вздовж ліній ковзання відносно робочої поверхні інструмента.

Коефіцієнт деформації втулок за зовнішнім діаметром визначали як відношення внутрішнього діаметра після оброблення до діаметра калібрувальної частини пуансона [3, 4].

За пластичного деформування втулок із кутом конуса пуансона $\beta=11^0$ коефіцієнт деформації верхнього пояска за зовнішнім діаметром (D, D_1) становив:

$$K_{D1} = \ln\frac{D_1}{D} = \ln\frac{50.20}{50.00} = 0.0040 \qquad (1)$$

На основі експериментальних досліджень встановлено:

- Після пластичного деформування внутрішній діаметр бронзових втулок відхиляється від діаметра калібрувальної частини пуансона внаслідок особливостей пластичної течії металу.
- Виявлену закономірність необхідно враховувати під час проєктування пуансона та вибору його геометричних параметрів для забезпечення точності відновлення втулок.

Висновки

1. Обґрунтовано перспективність пластичної роздачі для відновлення геометричних параметрів бронзових втулок.
2. Встановлено відхилення внутрішнього діаметра втулки від діаметра пуансона, яке необхідно враховувати під час проєктування інструмента.
3. Визначено коефіцієнт деформації втулки за зовнішнім діаметром.
4. Результати досліджень дають змогу вдосконалити технологію відновлення втулок і підвищити точність оброблення.

Список використаних джерел

1. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія / О. В Нахайчук та ін. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158с.
2. Насоси для рідин. [Інтернет ресурс] http://www.eurots.com.ua/products/2?isFinalProduct=0&ch=2 (Дата звернення 20.09.2026)
3. Хітров І.О., Кононогов Ю.А. Відновлення деталей пластичним деформуванням та способи для його здійснення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Т. 35 (74) № 1 2024. С. 191-196.
4. Іванкова О. В., Федін В. О. Дослідження відновлення деталей шестеренних насосів пластичним деформуванням. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч. І. с. 175-189. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186

УДК 631.171:004.89

ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГРОСИСТЕМ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Калнагуз О.М., Сіренко Ю.В.
Сумський національний аграрний університет

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується необхідністю одночасного підвищення продуктивності, зниження виробничих витрат, раціонального використання матеріально-технічних ресурсів та зменшення негативного впливу технологічних процесів на навколишнє середовище. Традиційні підходи до вирощування сільськогосподарських культур, які передбачають застосування усереднених технологічних параметрів у межах усього поля, не завжди дають змогу враховувати просторову неоднорідність ґрунтових умов, стану рослин, забезпеченості елементами живлення, забур'яненості та інших факторів.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначеної проблеми є впровадження інтелектуальних агросистем, які поєднують сучасні сільськогосподарські машини, сенсорні засоби, GNSS-навігацію,

геоінформаційні технології, машинне бачення, автоматизовані системи керування, робототехніку, телематику та алгоритми штучного інтелекту. Їх використання забезпечує отримання інформації про стан поля, рослин і технічних засобів безпосередньо під час виконання технологічних операцій, її оперативне опрацювання та формування відповідних керуючих впливів.

Особливого значення набуває можливість переходу від традиційного керування технологічними операціями до адаптивного та диференційованого виконання робіт, за якого параметри машин і агрегатів змінюються відповідно до фактичних умов на конкретній ділянці поля. Це стосується автоматичного водіння, диференційованого висіву насіння та внесення добрив, точкового обприскування, контролю робочих органів, моніторингу стану посівів і врожайності, а також використання автономних машин.

Водночас різноманітність технічних і програмних рішень, швидкий розвиток цифрових технологій та різний рівень їх інтеграції в сільськогосподарські машини зумовлюють необхідність систематизації сучасних інтелектуальних систем, визначення їх функціонального призначення та можливостей застосування на окремих етапах технології вирощування сільськогосподарських культур.

Аналіз сучасних досліджень свідчить про активний розвиток технологій цифрового та точного землеробства, спрямованих на підвищення керованості технологічних процесів у рослинництві. Значна увага приділяється застосуванню GNSS та RTK-технологій, які забезпечують високоточне позиціонування машинно-тракторних агрегатів, автоматичне і паралельне водіння, формування маршрутів руху та скорочення перекриттів і пропусків.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням сенсорних систем та дистанційного зондування. Ґрунтові датчики, метеорологічні станції, супутникові дані, безпілотні літальні апарати, мультиспектральні та тепловізійні камери дають можливість отримувати просторово диференційовану інформацію про вологість і властивості ґрунту, стан рослин, розвиток біомаси, наявність стресових факторів, бур'янів, хвороб та пошкоджень.

Важливе місце займають дослідження систем диференційованого виконання технологічних операцій (VRA). Вони передбачають автоматичну зміну норми висіву насіння, внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин відповідно до електронних карт-завдань або інформації, одержаної сенсорами в режимі реального часу. У сучасних обприскувачах набувають поширення системи автоматичного відключення секцій, індивідуального керування форсунками, PWM-регулювання та технології вибіркового обприскування. Перспективним напрямом є застосування машинного бачення та штучного інтелекту. Аналіз цифрових зображень дозволяє ідентифікувати культурні рослини та бур'яни, визначати стан посівів, виявляти окремі захворювання й пошкодження та формувати керуючі команди для робочих органів машин. Розвиток цих технологій створює передумови для переходу від автоматизованих до автономних технологічних систем.

Таким чином, проведені дослідження демонструють поступовий перехід від окремих засобів автоматизації до комплексних інтелектуальних агросистем, у яких реалізується послідовність: отримання інформації → аналіз даних → прийняття рішення → керуюча дія → контроль результату.

Проте актуальним залишається комплексний аналіз таких систем з позиції їх місця та функціонального призначення у загальній технології вирощування сільськогосподарських культур.

Метою дослідження є аналіз, узагальнення та систематизація сучасних інтелектуальних систем, що застосовуються в технологіях вирощування сільськогосподарських культур, визначення їх функціонального призначення, технічних особливостей і перспектив використання для автоматизації та підвищення ефективності виконання технологічних операцій.

У межах дослідження доцільно розглянути навігаційні системи, засоби моніторингу, сенсорні технології, системи диференційованого внесення матеріалів, машинне бачення, автоматичне керування сільськогосподарською технікою, телематичні системи, роботизовані й автономні машини та технології штучного інтелекту.

Проведений огляд свідчить, що інтелектуальні системи стають одним із ключових напрямів розвитку технічного забезпечення сучасного рослинництва. Поєднання GNSS-навігації, сенсорних технологій, дистанційного зондування, геоінформаційних систем, машинного бачення, телематики, автоматизованого керування та штучного інтелекту забезпечує можливість оперативного отримання й аналізу значних обсягів інформації та використання її безпосередньо для керування технологічними процесами.

Застосування інтелектуальних систем створює передумови для диференційованого виконання технологічних операцій відповідно до фактичного стану окремих ділянок поля та рослин. Це дозволяє підвищити точність виконання робіт, зменшити перекриття і пропуски, оптимізувати використання насіння, добрив, засобів захисту рослин та паливно-мастильних матеріалів, а також забезпечити постійний контроль параметрів роботи машин.

Встановлено, що подальший розвиток інтелектуальних агросистем пов'язаний із поглибленням інтеграції сенсорних засобів, машинного бачення, штучного інтелекту та автоматизованих виконавчих механізмів. Це сприятиме переходу від систем підтримки оператора до адаптивних, роботизованих та автономних машин, здатних самостійно оцінювати виробничу ситуацію, приймати рішення та коригувати параметри технологічного процесу.

Отже, впровадження інтелектуальних систем у технології вирощування сільськогосподарських культур є перспективним напрямом підвищення технологічної, енергетичної, економічної та екологічної ефективності агровиробництва. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання ефективності окремих інтелектуальних систем у конкретних технологічних операціях та обґрунтування раціональних параметрів їх взаємодії із сільськогосподарськими машинами.

Список використаних джерел

1. Полянчиков С. Інтелектуальне сільське господарство. «Агроном» – журнал про сучасне вирощування сільськогосподарських культур.. Головна / Публікації / Добрива. 07.01.2021. URL: https://www.agronom.com.ua/intelektualne-silske-gospodarstvo/ (дата звернення: 24.09.2026).

2. Адаменко І. Інтелектуальні цифрові системи управління сільськогосподарським виробництвом. Економічний аналіз. 2025. Том 35. № 3. С. 107-121. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2025.03.107

3. Покотилюк М. М., Горач О. О. Світові та вітчизняні інтелектуальні технології в агропромисловому комплексі // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 03-28 листопада 2025 р.) / ТДАТУ; ред. кол.: С. В. Кюрчев, В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 70-74.

4. Кравченко, Н.В & Ключевич, М.М & Можарівська, І.А & Подгаєцький, А.А & Гнітецький, М.О. (2025). Ефективність використання штучного інтелекту у садівництві. Аграрні інновації. 83-87. 10.32848/agrar.innov.2025.31.14.

5. Песцов, В. Інтелектуальні ERP-рішення для аграрного сектору: автоматизація і прогнозування [Текст] / В. Песцов // Цифрова економіка та економічна безпека : науково-практичний журнал / Причорноморський науково-дослідний інститут економіки та інновацій, Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка ; [редкол.: О. Ю. Кудріна (гол. ред.), В. В. Божкова, В. І. Борщ, Н. М. Вдовенко та ін.]. – 2025. – № 4 (19). – С. 156–161. – DOI: https://doi.org/10.32782/dees.19-24

УДК 631.3:004.9

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Келемеш А. О., Ляшенко С. В., Бурлака О. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасне рослинництво характеризується значною неоднорідністю умов вирощування сільськогосподарських культур у межах одного поля. Відмінності родючості ґрунту, його вологості, рельєфу, забур’яненості, ураження хворобами та шкідниками зумовлюють нерівномірність розвитку рослин і формування врожайності. Застосування усереднених норм висіву, внесення добрив та засобів захисту рослин не завжди забезпечує раціональне використання ресурсів.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження елементів точного землеробства, які передбачають збір, аналіз і використання інформації

щодо окремих ділянок поля. Важливим інструментом отримання такої інформації є безпілотні літальні апарати (БПЛА), здатні здійснювати оперативний моніторинг посівів, картографування, виявлення проблемних ділянок та виконувати окремі технологічні операції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технології точного землеробства ґрунтуються на диференційованому підході до управління виробничими процесами. Для цього використовуються навігаційні системи, монітори, засоби контролю норм висіву та внесення матеріалів, системи відключення секцій, а також програмне забезпечення для накопичення й аналізу інформації про поля.

Безпілотні літальні апарати розширюють можливості таких систем завдяки оперативному отриманню просторової інформації. З їх допомогою можуть виконуватися аерофотозйомка, відеомоніторинг, 3D-моделювання, визначення стану рослин за допомогою спектральних даних, картографування, а також точкове обприскування. При цьому ефективність використання БПЛА повинна оцінюватися не лише за технологічними можливостями, а й за економічними результатами їх застосування.

Мета. Метою роботи є оцінювання перспектив та економічної ефективності застосування безпілотних літальних апаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур на прикладі фермерського господарства «Яресько» Полтавського району Полтавської області.

Результати досліджень. У роботі розглянуто можливість використання БПЛА як елемента системи точного землеробства. Застосування агродронів розглядається для моніторингу посівів, виявлення проблемних ділянок, контролю стану рослин та виконання окремих технологічних операцій. Важливою перевагою є можливість отримання просторово прив'язаної інформації, яка може використовуватися для прийняття подальших агроінженерних рішень.



Рис. 1. Схема застосування безпілотних літальних апаратів у системі точного землеробства (схему створено із використанням генеративного ШІ; зміст перевірено та відредаговано авторами)

Як показано на рис. 1, використання БПЛА у системі точного землеробства передбачає послідовне виконання операцій зі збору, обробки та аналізу просторової інформації, формування карт-завдань, виконання технологічних операцій та оцінювання отриманого результату.

Перспективу застосування агродронів було оцінено для трьох культур, що вирощуються у ФГ «Яреcько»: соняшнику, озимої пшениці та кукурудзи на зерно. Порівняння класичної технології та технології із застосуванням агродронів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння показників вирощування культур за класичною технологією та із застосуванням агродронів

Культура	Площа, га	Урожайність за класичною технологією, т/га	Урожайність із застосуванням агродронів, т/га	Додаткова урожайність, т/га
Соняшник	60	1,9	2,3	0,4
Озима пшениця	85	5,3	5,9	0,6
Кукурудза	70	8,7	8,9	0,2
Разом	215	–	–	–

За даними досліджень, валовий збір продукції за класичною технологією становив 1173,5 т, тоді як при застосуванні технології з агродронами 1262,5 т. Таким чином, приріст валового збору для досліджуваних культур становив 77 т.

Найбільший приріст урожайності у розрахунку на одиницю площі отримано для озимої пшениці – 0,6 т/га, для соняшнику – 0,4 т/га, для кукурудзи – 0,2 т/га.

Економічна оцінка показала, що додатковий фінансовий результат від застосування агродронів при вирощуванні соняшнику, озимої пшениці та кукурудзи становить 1054 тис. грн. Крім цього, за рахунок зменшення витрат палива та води отримується додаткова економія близько 57 тис. грн.

Окремо у звіті досліджень наведено порівняння витрат на паливно-мастильні матеріали та логістику води. Загальний розрахунковий ефект за цими статтями становить 56998 грн, що підтверджує ресурсозберігаючий характер використання агродронів.

Водночас вибір конкретної моделі застосування БПЛА повинен здійснюватися з урахуванням площі господарства, частоти використання техніки, вартості обладнання та доступності послуг. У дослідженнях розглянуто три моделі: придбання власного дрона із зовнішнім програмним забезпеченням, модель «дрон як послуга» та комплексну модель отримання аналітичних даних як послуги.

Висновки. Безпілотні літальні апарати є перспективним елементом систем точного землеробства, оскільки забезпечують оперативне отримання просторової інформації про стан посівів та окремих ділянок поля. За

результатами досліджень для умов ФГ «Яресько» застосування агродронів при вирощуванні соняшнику, озимої пшениці та кукурудзи забезпечує збільшення сумарного валового збору з 1173,5 до 1262,5 т, тобто на 89 т. Розрахунковий додатковий фінансовий результат від застосування агродронів становить 1054 тис. грн, а економія витрат на паливо та воду близько 57 тис. грн.

Доцільність використання БПЛА необхідно визначати з урахуванням конкретних умов господарства, його площі, технологічних завдань, вартості обладнання та можливості використання послуг операторів. Основним критерієм прийняття рішення залишається економічна доцільність.

Список використаних джерел

1. Аніскевич Л. В., Свірень М. О., Коваленко М. М. Система точного землеробства : навч. посібник. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. 104 с.

2. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Київ : Аграрна наука, 2012. 416 с.

3. Павленко Л. А. Геоінформаційні системи : навч. посібник. Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. 260 с.

4. Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г., Захарін Ф. М. та ін. Основи застосування високоточних технологій рослинництва : монографія. Київ : НУБіП України, 2020. 405 с.

5. Келемеш А., Бурлака О., Іванкова О. Впровадження систем точного землеробства: основні етапи та виклики. Матеріали XXIV Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» : матеріали XXIV Міжнар. наук. конф., м. Дослідницьке, 13 вересня 2024 р. Дослідницьке, 2024. С. 108-115.

УДК 621.793

МОДИФІКУВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАЗМОВОЮ ОБРОБКОЮ

Лукавий Є.С., Тіхонов О.В.
Державний біотехнологічний університет

До найбільш ефективних технологічних процесів відновлення деталей в першу чергу відносяться способи з використанням висококонцентрованих джерел енергії - лазерна, плазмова, електронопроменева і електроіскрова обробки, які не призводять до структурних і фізико-механічних змін у підшарі. Крім того, застосування цих методів завдяки локальному нагріванню поверхневого шару не знижує втомної міцності відновлюваних деталей і

забезпечує отримання необхідного по товщині шару покриття. У 90% деталей, особливо які працюють у поєднанні, величина зносу вбирається у 1,5мм [1-5].

За останні роки набули широкого поширення методи відновлення зношеного шару деталей плазмовим наплавленням та напиленням. Однак напилення забезпечує компенсацію невеликої величини шару, що відновлюється, і відносно низьку міцність зчеплюваності покриття з основою. Крім того, більшість покриттів, що наносяться, вимагають подальшої обробки (оплавлення).

За практичним плазмові покриття можуть бути розділені на такі основні групи та підгрупи [1-5]:

- покриття для забезпечення підвищеної зносостійкості деталей у парах тертя (при газоабразивному, гідроабразивному зносах, втомному руйнуванні поверхневих шарів, при фреттинг-корозії, корозійно-механічному зносі);
- покриття для захисту від руйнування при високих температурах: в окисних та інших агресивних середовищах, при високотемпературній ерозії, у розплавах металів та шлаків, в умовах впливу інтенсивних теплових потоків;
- покриття зі спеціальними електрофізичними та оптичними властивостями: електропровідні, електроізолюючі та екрануючі, з магнітними властивостями, світловідбивні, а так само з високим ступенем чорноти;
- покриття для створення саморегулюючих зазорів;
- покриття для відновлення розмірів зношених деталей.

Для отримання таких різноманітних покриттів застосовується широкий спектр матеріалів.

Матеріали, що застосовуються для покриттів, розрізняють за складом та властивостями. У США було прийнято їх розподіл на чотири групи за хімічним складом: 1) малолеговані на залізній основі (від 2 до 12% легуючих елементів); 2) високолеговані на залізній основі (від 12 до 50% легуючих елементів); 3) матеріали на основі нікелю та кобальту; 4) матеріали, що містять переважно карбіди вольфраму (75% і більше).

Якість відновленого шару характеризується такими параметрами, як твердість, мікротвердість, однорідність, пористість, наявність несплошностей, тріщин, показниками зносостійкості. Для визначення якості наплавленого шару застосовуються різні методи контролю наплавлень, які можна розділити на великі групи:

- методи із використанням руйнування деталі;
- методи неруйнівного контролю.

Першу групу поділяють на контроль з частковим або повним руйнуванням відновлених деталей [6]. До цього виду контролю відноситься: а) перевірка якості нанесених шарів методом засвердлювання; б) технологічні проби на злам, скручування; в) механічні випробування для визначення міцності, пластичності (випробування на розтяг, вигин, зріз, удар, знакозмінне навантаження та твердість); г) металографічні дослідження макро- та мікроструктури наплавленого металу та зон термічного впливу; д) перевірку нанесених шарів на

корозійну стійкість; е) випробування зразків або готових виробів на зносостійкість. Друга група – фізичні способи контролю суцільності покриттів без руйнувань. До цього виду контролю відносять: а) рентгеноструктурний аналіз; б) магнітні способи контролю суцільності наплавленого шару (порошкова дефектоскопія, способи контролю властивостей; в) спосіб контролю ультразвуком та методом загасаючих коливань. Також знайшов широке застосування в промисловості неруйнівний метод контролю якості сталевих виробів з коерцитивної сили.

Особливе місце в проблемі забезпечення якості покриттів займають методи прогнозування їх властивостей, які зводяться до розрахунків режимів обробки і (при необхідності) термічної обробки, оцінки температурних полів, термодинамічних процесів структуроутворення, оцінки величини перехідної зони та зони термічного впливу, хімічного складу, дифузійних процесів. А також дослідження зміни властивостей покриттів у процесі експлуатації, з використанням планування експерименту, обробка статистичних експериментальних даних. Якість покриття знаходиться також у жорсткій залежності від стану деталі, що підлягає відновленню, а також використання методів підготовчих операцій.

Наплавлений метал в основному характеризується дрібнодендритною структурою, однорідною по всьому перерізу. На межі розділу основного металу з наплавленим або межі стику валиків при багатошарових проходах спостерігалися порожнечі і неметалеві включення різної форми.

Структура шару, що формується при нанесенні плазмовим методом істотно залежить і від хімічного складу матеріалу [6]. Зі збільшенням частки вуглецю та легуючих добавок зростає кількість дисперсної карбідної фази (легованого цементиту та спецкарбідів), які визначають рівень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. У зоні перегріву феритна фаза має значно більшу мікротвердість у порівнянні з феритною фазою, яка знаходиться за зоною термічного впливу (рис. 1). Це свідчить про те, що ферит, що входить у структуру відманштету, більш напружений як за рахунок перенасиченості по вуглецю, так і за рахунок пластичної деформації фазового переходу [7].

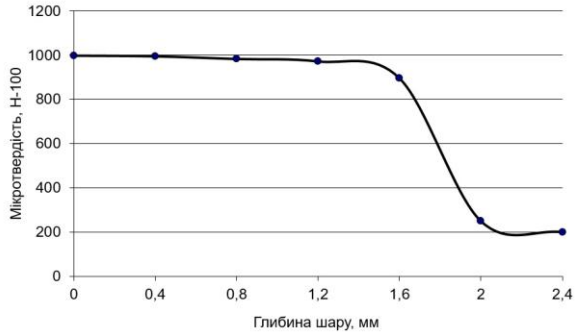


Рис. 1. Розподіл мікротвердості за глибиною нанесеного шару [6]

Використання як присадний матеріал металевого порошку дозволяє в процесі нанесення покриттів регулювати його хімічний склад шляхом одночасної подачі в пальник двох або більше порошкових композицій різного

хімічного складу і співвідношення, виходячи з умов експлуатації деталі. Плазмовий метод має досить високий ККД (60…80%), відрізняється простотою контролю технологічного процесу та забезпечує якісне сплавлення основного та присадного матеріалів, дозволяє наплавити шар завтовшки до 3 – 5 мм.

Встановлено велику різноманітність порошкових матеріалів, що використовуються для нанесення покриттів. Найбільшу твердість і зносостійкість мають сплави з вмістом карбідів вольфраму, бору, титану, хрому. Сплави на основі титану вимагають більш високої температури нанесення покриттів і використовуються як жаростійкі. Найчастіше використовують леговані матеріали з урахуванням заліза. Вони мають досить високу твердість (від 55 до 60 HRCe), а при вмісті хрому 3-5% мають хороше поєднання твердості і в'язкості. Такі матеріали в 3-10 разів дешевші за твердосплавні порошки.

Список використаних джерел

1. Закалов О.В. Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с.

2. Інженерія поверхні. / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. Київ: Наукова думка, 2007. 553 с.

3. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів. Частина ІІ: Навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. 38 с.

4. Плазменное поверхностное упрочнение. / Л.К. Лещинский и др. Киев: Техника, 1990. 109 с.

6. Білоконь С.С., Рибалко І.М. Дослідження властивостей деталей відновлених плазмово-порошковим методом. *XIX-й Міжнародний форум молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ»*. Збірка матеріалів форуму. Харків: ДБТУ, 2023. С. 111.

7. Рибалко І.М., Тіхонов О.В., Білоконь С.С. Аналіз методу оцінки якості відновлених деталей. *Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання»* 23-24 лют. 2023 р. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 80.82.

7. Рибалко І.М., Тіхонов О.В., Тєрєхов Д.А. Особливості структури і властивостей деталей, відновлених плазмовим методом. *«Світ наукових досліджень. Випуск 16»*: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 16-17 лютого 2023 р.). Тернопіль: ФО-П Шпак В.Б., 2023. С. 410-414.

УДК 631.1:004.8:629.7

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА БЕЗПІЛОТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМУ SMART FARMING

Ляшенко С.В., Вісіч О.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасний розвиток аграрного виробництва супроводжується активною цифровою трансформацією технологічних процесів, спрямованою на підвищення продуктивності, точності використання ресурсів та рівня автоматизації. Одним із ключових інструментів цієї трансформації є штучний інтелект (ШІ), який забезпечує автоматизований аналіз значних масивів інформації, розпізнавання об'єктів, прогнозування технологічних параметрів і підтримку прийняття виробничих рішень.

Сільське господарство характеризується значною просторовою неоднорідністю ґрунтів, посівів, погодних умов та фітосанітарного стану рослин. За таких обставин використання традиційного підходу до виконання технологічних операцій за єдиними нормативами для всього поля не завжди забезпечує раціональне використання матеріальних і енергетичних ресурсів. Тому перспективним напрямом є перехід до диференційованого управління виробничими процесами на основі оперативних даних про фактичний стан агроценозів.

Одним із комплексних підходів до вирішення цього завдання є концепція Smart Farming - «розумного господарства», яка передбачає інтеграцію сенсорних систем, супутникових технологій, безпілотних літальних апаратів, геоінформаційних систем, хмарних платформ, засобів автоматизованого керування та алгоритмів штучного інтелекту.

Особливе місце в цій системі посідають безпілотні літальні апарати (БПЛА), які поєднують функції оперативного збору просторової інформації, моніторингу посівів, виконання окремих технологічних операцій та передачі даних до цифрових систем управління. Подальше вдосконалення алгоритмів ШІ створює передумови для переходу від простого дистанційного спостереження до автономного прийняття та реалізації технологічних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепція Smart Farming ґрунтується на формуванні замкненого цифрового циклу управління агровиробництвом: збір даних → передавання інформації → аналітична обробка → формування рішення → виконання операції → контроль результату. Реалізація такого підходу потребує інтеграції декількох функціональних рівнів.

Першим рівнем є система збору даних, до складу якої входять ґрунтові та метеорологічні датчики, супутникові системи спостереження, БПЛА з оптичними, мультиспектральними, тепловими та гіперспектральними камерами, а також сенсори, встановлені на сільськогосподарській техніці. Такі засоби забезпечують отримання інформації про температуру та вологість ґрунту,

забезпеченість рослин поживними речовинами, стан посівів, параметри виконання технологічних операцій, урожайність та інші характеристики [1-4].

Другим рівнем є інфраструктура передачі інформації, яка може базуватися на технологіях LoRaWAN, NB-IoT, 4G/5G та супутниковому зв'язку. Отримані дані можуть передаватися безпосередньо на локальні пристрої або зберігатися та оброблятися у хмарних середовищах.

Третій рівень формує систему аналітики та прийняття рішень. Саме на цьому етапі алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту використовуються для прогнозування врожайності, виявлення хвороб і шкідників, оцінювання стану рослин, визначення проблемних зон та оптимізації норм внесення насіння, добрив і засобів захисту рослин. Інтеграція ШІ з геоінформаційними системами та цифровими моделями полів дозволяє аналізувати просторову неоднорідність та моделювати різні варіанти технологічних рішень [5,6].

Четвертий рівень становить система технологічного виконання, до якої належать трактори, сівалки, обприскувачі, зернозбиральні машини, автономні платформи та БПЛА. Точність переміщення техніки забезпечується системами супутникової навігації та RTK-корекції. Важливим елементом є технології диференційованого внесення, за яких норма технологічного матеріалу змінюється відповідно до карти-завдання.

П'ятий рівень – система управління, представлена цифровими та хмарними платформами, мобільними застосунками та програмними комплексами, які забезпечують інтеграцію виробничих, логістичних та економічних даних.

У цій структурі БПЛА виконують особливо важливу роль завдяки поєднанню мобільності, оперативності та можливості отримання просторово деталізованої інформації. Основними напрямами їх використання є аерофотознімання, картографування полів, моніторинг стану посівів, виявлення зон стресу рослин, оцінювання вегетаційних індексів, внесення засобів захисту рослин, добрив, десикантів та інших біологічних матеріалів.

Інтеграція БПЛА з алгоритмами штучного інтелекту значно розширює їх функціональні можливості. Комп'ютерний зір дає змогу автоматично аналізувати отримані зображення, розпізнавати рослини, бур'яни, ознаки хвороб, пошкодження та інші об'єкти. Навігаційні алгоритми забезпечують автономне планування маршрутів, обхід перешкод та оптимізацію траєкторії польоту [7,8].

Перспективним напрямом є використання легких моделей машинного навчання, здатних виконувати частину обчислень безпосередньо на борту БПЛА. Такий підхід зменшує залежність від постійного зв'язку з хмарною інфраструктурою та забезпечує можливість оперативного реагування безпосередньо під час виконання польотного завдання [9].

Разом з тим широкомасштабне впровадження інтелектуальних систем стримується високою початковою вартістю обладнання, необхідністю підготовки кваліфікованого персоналу, вимогами до якості цифрової

інфраструктури, сумісності програмних і технічних засобів та необхідністю технічного обслуговування.

Мета. Метою досліджень є обґрунтування напрямів інтеграції технологій штучного інтелекту та безпілотних літальних апаратів у систему Smart Farming для підвищення ефективності управління технологічними процесами, раціонального використання ресурсів та автоматизації операцій сільськогосподарського виробництва.

Результати досліджень. Аналіз структури Smart Farming дозволяє розглядати її не як окрему цифрову технологію, а як інтегровану інформаційно-технологічну систему, у якій кожен елемент виконує визначену функцію. Основою її роботи є безперервне надходження інформації про стан ґрунту, рослин, техніки та навколишнього середовища з подальшим перетворенням цих даних у конкретні технологічні рішення.

Функціонування системи може бути представлено у вигляді замкненого циклу. На першому етапі сенсори, супутникові системи та БПЛА формують масив первинних даних. Далі інформація передається до аналітичної платформи, де за допомогою алгоритмів штучного інтелекту здійснюється її обробка, класифікація та просторове прив'язування. За результатами аналізу формуються карти стану посівів та карти проблемних зон, на основі яких створюються карти-завдання для виконання конкретної технологічної операції.

Особливо перспективним є використання БПЛА як мобільної платформи збору та реалізації технологічної інформації. Під час моніторингового польоту безпілотний апарат отримує значний масив зображень, які після геоприв'язування можуть бути об'єднані у цифрову модель поля. Алгоритми комп'ютерного зору аналізують зображення за характерними ознаками – зміною кольору, текстури, форми рослин, появою плям або інших аномалій.

Наступним етапом є класифікація виявлених об'єктів та визначення рівня їх потенційної небезпеки. На цій основі формується карта диференційованого впливу, яка містить координати проблемних зон і відповідні параметри технологічної операції. Таким чином, загальне рішення «обробити поле» замінюється диференційованим підходом - «обробити конкретну ділянку відповідно до її фактичного стану».

Під час точкового внесення засобів захисту рослин або добрив БПЛА може використовувати сформовану карту-завдання та координати власного положення для керування виконавчими механізмами. Відкриття форсунок або зміна норми внесення відбувається лише в межах визначених зон. Це створює передумови для зменшення непродуктивного використання хімічних препаратів і зниження навантаження на агроекосистему.

Не менш важливою є функція автономної навігації. Поєднання супутникової навігації, камер, ультразвукових датчиків, LiDAR та алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє БПЛА визначати перешкоди, коригувати траєкторію руху та формувати безпечний маршрут. У перспективі це створює можливість одночасної роботи групи безпілотних апаратів, які можуть координувати свої дії та розподіляти технологічні завдання.

Використання штучного інтелекту також відкриває можливості для прогнозування врожайності, оцінювання вологозабезпеченості ґрунту, оптимізації зрошення та визначення потреби рослин у поживних речовинах. На відміну від традиційного контролю, який часто базується на періодичних наземних обстеженнях, цифрові системи забезпечують можливість регулярного отримання просторово деталізованої інформації.

Потенційний ефект від впровадження Smart Farming проявляється у декількох напрямах: підвищенні продуктивності, зменшенні витрат насіння, добрив, засобів захисту рослин і води, скороченні непродуктивних переміщень техніки, зменшенні витрат пального та підвищенні оперативності реагування на несприятливі зміни стану посівів.

Водночас наведені в літературі кількісні оцінки ефекту від цифровізації, зокрема щодо підвищення врожайності чи зменшення витрат ресурсів, не можуть вважатися універсальними. Їх величина залежить від культури, ґрунтово-кліматичних умов, рівня технологічного забезпечення господарства, якості вихідних даних та алгоритмів обробки інформації.

Подальший розвиток Smart Farming пов’язаний із переходом від окремого застосування цифрових інструментів до їх повної інтеграції. Перспективною є модель, у якій БПЛА, наземна техніка, сенсорні системи, супутникові дані та штучний інтелект функціонують як єдина інформаційно-керуюча система.

Особливого значення набуває формування замкненого циклу управління: моніторинг → аналіз → прогнозування → формування завдання → автоматизоване виконання → оцінювання результату → повторне навчання моделі. Саме такий підхід здатний забезпечити перехід від цифрового моніторингу до адаптивного та автономного управління агротехнологічними процесами.

Висновки. Smart Farming доцільно розглядати як комплексну систему цифрового управління агровиробництвом, що об’єднує сенсорні технології, супутниковий моніторинг, БПЛА, геоінформаційні системи, хмарні платформи, автоматизовану техніку та алгоритми штучного інтелекту.

Інтеграція ШІ забезпечує перехід від накопичення великих масивів даних до їх інтелектуальної обробки та формування диференційованих технологічних рішень. Це створює передумови для точнішого використання матеріальних, енергетичних та водних ресурсів.

БПЛА є одним із найбільш перспективних елементів Smart Farming завдяки можливості оперативного збору просторової інформації, моніторингу посівів, картографування та виконання окремих технологічних операцій.

Використання комп’ютерного зору та машинного навчання дає змогу автоматизувати розпізнавання проблемних зон, бур’янів, ознак ураження рослин та інших об’єктів, після чого формувати карти-завдання для диференційованого виконання технологічних операцій.

Поєднання БПЛА, ШІ, систем навігації та сенсорів створює можливості для автономного планування маршрутів, обходу перешкод, точкового внесення препаратів і координації роботи декількох безпілотних апаратів.

Ефективність впровадження інтелектуальних технологій визначається не лише технічними можливостями обладнання, а й якістю даних, програмного забезпечення, цифрової інфраструктури та рівнем підготовки персоналу. Тому впровадження Smart Farming має здійснюватися як комплексна технологічна та організаційна трансформація господарства.

Подальший розвиток цифрового землеробства доцільно спрямовувати на створення замкненого циклу «збір даних → аналіз → прийняття рішення → автоматизоване виконання → оцінювання результату», що є основою переходу від традиційного точного землеробства до адаптивного та автономного управління агротехнологічними процесами.

Список використаних джерел

1. Як штучний інтелект змінює сільське господарство у 2025 році : «Agiliway» URL: https://www.agiliway.com/uk-ua/yak-shtuchnyj-intelekt-zminyuye-silske-gospodarstvo-u-2025-roczi/ (дата звернення 29.09.2026)

2. Цифрове землеробство: чому Smart Farming стає нормою : Ярило l Добрива URL: https://yarylo.ua/blog/cifrove-zemlerobstvo-chomu-smart-farming-staye-normoyu (дата звернення 29.09.2026)

3. Штучний інтелект трансформує агрохолдинги : «iFarming» URL: https://ifarming.ua/monitoring/shtuchnyj-intelekt-transformuye-agroholdyngy (дата звернення 29.09.2026)

4. 5 постулатів для старту точного землеробства від Smart Farming : «SuperAgronom» URL: https://superagronom.com/articles/592-5-postulativ-dlya-startu-tochnogo-zemlerobstva-vid-smart-farming (дата звернення 29.09.2026)

5. Кучмійова Т. С., Мороз Т. О., Шешунова А. В. «Використання штучного інтелекту в сільському господарстві». Київ: «Modern Economics», 2023. 69–74 с.

6. Кривохижа Є. М., Войтік А. В., Резніченко В. П. «Аналіз світових трендів упровадження штучного інтелекту в агрономію та їхній вплив на сталий розвиток». Київ: «Аграрні інновації» 2025. 169–176 с

7. Піраміда точного землеробства : «AGGEEK» URL: https://aggeek.net/ru-blog/piramida-tochnogo-zemlerobstva (дата звернення 29.09.2026)

8. Розумне землеробство в Україні: як українські фермери впроваджують цифрові технології : «ITC» URL: https://itc.ua/ua/articles/rozumne-zemlerobstvo-v-ukrayini-yak-ukrayinski-fermery-vprovadzhuyut-tsyfrovi-tehnologiyi/ (дата звернення 29.09.2026)

9. Задорожній Ю. В., Смірнова І. В. «Використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу земель сільськогосподарського призначення.». Миколаїв: «МНАУ», 2024. 271-274 с.

УДК 631.372:621.81-192

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СЕРВІСНОГО СУПРОВОДУ ТРАКТОРІВ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Ляшенко С. В., Колесніченко А. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність використання тракторів у сучасному сільськогосподарському виробництві значною мірою визначається їх технічним станом, рівнем експлуатаційної надійності та своєчасністю виконання регламентних сервісних операцій. Інтенсивні режими роботи, значні сезонні навантаження, вплив абразивного середовища та природне зношування деталей зумовлюють поступове погіршення технічного стану машин і підвищують імовірність виникнення відмов.

У таких умовах особливого значення набуває організація системи сервісного супроводу, орієнтованої не лише на усунення вже виниклих несправностей, а насамперед на їх своєчасне виявлення та попередження. Недотримання періодичності технічного обслуговування, несвоєчасна діагностика та експлуатація машин із параметрами, що вийшли за допустимі межі, можуть призводити до прискореного спрацювання деталей, збільшення простоїв і зростання експлуатаційних витрат.

Тому актуальним завданням є формування раціональної системи сервісного супроводу тракторів, яка забезпечуватиме систематичний контроль їх технічного стану, планове виконання профілактичних робіт та своєчасне відновлення працездатності основних вузлів і агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до технічної експлуатації тракторів ґрунтуються на поєднанні регламентних, діагностичних і ремонтних заходів, спрямованих на підтримання машин у працездатному стані протягом усього періоду їх використання. Основу такої організації становить планово-попереджувальний принцип, відповідно до якого сервісні впливи здійснюються не після виникнення відмови, а до досягнення критичного стану окремих складових техніки [1,2].

Важливим елементом системи є встановлення періодичності технічного обслуговування залежно від напрацювання конкретної моделі трактора. Такий підхід дає змогу регламентувати строки виконання сервісних операцій, визначати їх склад та забезпечувати прогнозованість технічного стану машини. Водночас сучасні засоби діагностування створюють передумови для переходу від виключно календарного принципу обслуговування до контролю фактичного стану окремих систем і агрегатів.

Система сервісного супроводу має охоплювати весь життєвий цикл трактора – від підготовки машини до введення в експлуатацію до виконання періодичних обслуговувань, поточного та капітального ремонтів. Такий комплексний підхід сприяє зниженню інтенсивності зношування деталей,

своєчасному виявленню несправностей і скороченню непродуктивних простоїв техніки.

Мета. Метою дослідження є обґрунтування структури системи сервісного супроводу тракторів, спрямованої на забезпечення їх технічної справності та працездатності шляхом поєднання планових профілактичних заходів, контролю технічного стану, поточного і капітального ремонту протягом усього життєвого циклу машини.

Результати досліджень. Запропонована система сервісного супроводу тракторів базується на трьох взаємопов'язаних принципах: плановості, попереджувальності та систематичного контролю технічного стану. Їх поєднання забезпечує цілеспрямований вплив на технічний стан машин та дає можливість мінімізувати ймовірність раптових відмов.

Принцип плановості передбачає виконання сервісних операцій відповідно до встановленої періодичності та фактичного напрацювання трактора. Для кожної марки і моделі машини виробником визначаються відповідні інтервали обслуговування, перелік операцій, їх трудомісткість та необхідні матеріали. Дотримання встановлених регламентів забезпечує послідовність виконання робіт і дає змогу прогнозувати потребу в ресурсах для технічної експлуатації машин.

Попереджувальна спрямованість системи полягає у виконанні основного комплексу профілактичних робіт до виникнення відмови. У процесі сервісного обслуговування контролюються параметри технічного стану вузлів та агрегатів, виявляються відхилення від установлених нормативів і, за необхідності, виконуються регулювальні, кріпильні, мастильні та інші відновлювальні операції. Це дозволяє локалізувати початкові прояви несправностей і не допустити їх подальшого розвитку.

Структурно система сервісного супроводу включає сервісне обслуговування, поточний ремонт та капітальний ремонт. Сервісне обслуговування спрямоване на підтримання технічного стану трактора в межах установлених експлуатаційних параметрів. Поточний ремонт передбачає усунення несправностей, що виникають у процесі експлуатації та можуть бути ліквідовані шляхом заміни або відновлення окремих деталей, механізмів і складових. Капітальний ремонт спрямований на комплексне відновлення технічного ресурсу машини або її основних агрегатів у разі досягнення ними граничного стану.

Важливою складовою системи є постійний контроль технічного стану трактора. Його результати мають використовуватися для визначення необхідності виконання конкретних сервісних операцій, уточнення обсягів ремонтних робіт та оцінювання подальшої можливості експлуатації машини. Такий підхід дозволяє перейти від усунення наслідків відмов до їх профілактичного попередження.

Сервісне обслуговування тракторів охоплює комплекс регламентованих операцій, що виконуються у процесі експлуатації, зберігання та транспортування машин. Основними завданнями цих операцій є підтримання працездатності

агрегатів, забезпечення належних умов їх функціонування, зниження темпів зношування та своєчасне виявлення несправностей.

Залежно від етапу експлуатації та величини напрацювання до основних видів сервісного обслуговування тракторів доцільно віднести:

- передпродажне обслуговування, спрямоване на підготовку трактора до передачі споживачеві та його введення в експлуатацію;
- обслуговування у період обкатки, яке включає комплекс операцій до початку, під час та після завершення обкатки;
- щозмінне технічне обслуговування, що виконується перед початком або після завершення робочої зміни та передбачає контроль основних експлуатаційних параметрів, очищення, заправлення, мащення та перевірку справності систем;
- періодичне номерне технічне обслуговування, періодичність і склад якого встановлюються виробником залежно від моделі трактора та величини напрацювання [2].

Таким чином, система сервісного супроводу повинна функціонувати як комплекс взаємопов’язаних заходів, у межах якого результати контролю технічного стану використовуються для планування подальших сервісних впливів. Це забезпечує можливість своєчасного коригування обсягів технічного обслуговування та ремонту відповідно до фактичного стану машини.

Висновки. Система сервісного супроводу тракторів має формуватися на основі планово-попереджувального принципу із одночасним урахуванням фактичного технічного стану машин. Її функціонування повинно забезпечувати безперервний контроль експлуатаційних параметрів, своєчасне виконання регламентних операцій та попередження розвитку несправностей.

Встановлено, що структурними складовими системи є сервісне обслуговування, поточний і капітальний ремонти, які у сукупності охоплюють основні етапи життєвого циклу трактора. Раціональне поєднання регламентних та діагностичних заходів сприяє підвищенню експлуатаційної надійності машин, скороченню непродуктивних простоїв і зменшенню витрат, пов’язаних з усуненням аварійних відмов.

Основними видами сервісного обслуговування тракторів є передпродажне обслуговування, обслуговування у період обкатки, щозмінне та періодичне номерне технічне обслуговування. Їх своєчасне виконання відповідно до вимог виробника є необхідною умовою підтримання тракторів у працездатному стані та ефективного використання їх технічного ресурсу.

Список використаних джерел

1. Труханська, О. О. (2018). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61..

2. Новицький, А. В. (2014). Моніторинг тенденцій розвитку системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів», (2 (1)), 41-48.

УДК 631.372:631.3.004.67

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ТРАКТОРІВ JOHN DEERE

Ляшенко С.В., Русаков М.Р.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність використання тракторів John Deere у сільськогосподарському виробництві значною мірою визначається їх технічним станом, надійністю та організацією технічної експлуатації. Інтенсивні режими роботи, значні експлуатаційні навантаження та сезонний характер використання машин спричиняють прискорене зношування деталей і вузлів, підвищення ймовірності відмов та збільшення тривалості вимушених простоїв. Несвоєчасне проведення технічного обслуговування і ремонту призводить до зниження коефіцієнта технічної готовності машин та збільшення експлуатаційних витрат.

У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення організації технічного обслуговування, діагностування та ремонту тракторів John Deere із врахуванням їх фактичного технічного стану, характеру несправностей та умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпечення надійності тракторів John Deere є одним із ключових завдань системи їх технічної експлуатації. Дослідження у цій сфері спрямовані на вдосконалення періодичності технічного обслуговування, діагностування технічного стану агрегатів, прогнозування відмов та оптимізацію ремонтно-відновлювальних робіт [1-3].

Перспективним напрямом є перехід від ремонту за фактом відмови до технічного обслуговування і ремонту з урахуванням фактичного стану машини. Використання сучасних засобів діагностування дозволяє визначати несправні вузли без необґрунтованого розбирання агрегатів, встановлювати необхідний обсяг ремонтних робіт та зменшувати тривалість простою [4,5].

Разом із тим актуальним залишається питання комплексної оцінки ефективності організації технічного обслуговування та ремонту за показниками тривалості простоїв, трудомісткості робіт, експлуатаційних витрат і коефіцієнта технічної готовності тракторів John Deere.

Мета. Метою роботи є підвищення ефективності технічної експлуатації тракторів John Deere шляхом удосконалення організації їх діагностування, технічного обслуговування та ремонту з оцінюванням впливу запропонованих заходів на тривалість простоїв, трудомісткість ремонтних робіт, експлуатаційні витрати та коефіцієнт технічної готовності машин..

Результати досліджень. Результати аналізу організації технічної експлуатації тракторів John Deere свідчать про доцільність комплексного поєднання планового технічного обслуговування, періодичного діагностування та оперативного усунення виявлених несправностей. Основним принципом запропонованого підходу є визначення фактичного технічного стану відповідальних агрегатів перед прийняттям рішення щодо ремонту або заміни окремих деталей.

Застосування попереднього технічного діагностування дозволяє обмежити розбирання лише тими вузлами, технічний стан яких потребує додаткової перевірки або відновлення. За рахунок цього зменшується обсяг необґрунтованих ремонтних операцій, скорочується трудомісткість робіт і раціональніше використовуються запасні частини.

Важливим напрямом підвищення оперативності ремонту є виконання частини ремонтно-відновлювальних робіт безпосередньо за місцем експлуатації тракторів John Deere. Застосування виїзного технічного обслуговування та ремонту дає можливість скоротити час транспортування машин до ремонтної бази та зменшити тривалість вимушених простоїв, особливо в періоди виконання сезонних польових робіт.

За результатами оцінювання ефективності запропонованої організації технічної експлуатації встановлено можливість скорочення тривалості простоїв тракторів на 10–20 %. Одночасно раціоналізація ремонтних операцій, попереднє діагностування та обґрунтований вибір деталей для відновлення або заміни створюють передумови для зниження експлуатаційних витрат на 12–18 %.

Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту позитивно впливає на коефіцієнт технічної готовності тракторів John Deere. За організації своєчасного діагностування, планування ремонтних робіт і оперативного усунення несправностей його значення може підтримуватися на рівні 0,92–0,97, що характеризує високу готовність тракторів до виконання технологічних операцій.

Зменшення тривалості простоїв і підвищення технічної готовності забезпечуються не лише скороченням тривалості безпосередньо ремонтних операцій, а й удосконаленням організації ремонтного процесу. Попереднє визначення переліку несправних вузлів, підготовка необхідних запасних частин та залучення спеціалізованих ремонтних бригад дозволяють зменшити непродуктивні витрати часу.

Важливим елементом запропонованого підходу є оформлення результатів діагностування у вигляді дефектувальної відомості, у якій зазначаються технічний стан основних агрегатів, перелік деталей, що підлягають відновленню або заміні, орієнтовний обсяг робіт та потреба в запасних частинах. Це забезпечує можливість попереднього планування трудових і матеріальних ресурсів та скорочує загальну тривалість ремонтного циклу.

Таким чином, удосконалення системи технічної експлуатації за рахунок діагностування за фактичним технічним станом, своєчасного технічного обслуговування та оперативного ремонту дозволяє комплексно впливати на основні показники ефективності використання тракторів John Deere.

Висновки. Удосконалення технічної експлуатації тракторів John Deere на основі комплексного діагностування, планового технічного обслуговування та оперативного ремонту сприяє підвищенню їх експлуатаційної надійності та ефективності використання. Запропонований підхід передбачає визначення фактичного технічного стану основних агрегатів, обґрунтування обсягу ремонтних робіт та раціональне використання запасних частин.

Очікуваний ефект від удосконалення організації технічної експлуатації характеризується скороченням простоїв на 10–20 %, зниженням експлуатаційних витрат на 12–18 % та забезпеченням коефіцієнта технічної готовності на рівні 0,92–0,97. Застосування діагностування перед ремонтом і виїзного обслуговування додатково сприяє зменшенню непродуктивних витрат часу та підвищенню оперативності відновлення працездатності тракторів.

Отримані результати підтверджують доцільність подальшого вдосконалення системи технічної експлуатації сільськогосподарських тракторів на основі принципів технічного діагностування за фактичним станом і планування ремонтно-обслуговувальних заходів з урахуванням умов їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Хлудєєв Б.С. Шляхи оптимізації роботи дилерсько-сервісних центрів техніки John Deere. Б.С. Хлудєєв, Є.В. Калганков. Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу: *Матеріали Міжнародної науково - практичної конференції ГО «Інститут інноваційної освіти» Науково – навчальний центр прикладної інформатики НАН України*. – 2019. – С. 180–185.

2. Черній О. Деякі проблеми технічної надійності сільськогосподарських тракторів JOHN DEERE. *The 7 th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science». (March 2-4, 2022) Perfect Publishing, Vancouver, Canada*. 2022. С. 13–19.

3. Черній О. Дослідження безвідказності тракторів John Deere серії 8R в експлуатаційних умовах України. *Теоретичні та практичні питання аграрної науки : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. 2022. С. 117–120.

4. Mazur Je.. Tehnichni aspekty – 2012. *The Ukrainian Farmer. – v1*. 2012. 28-29.

5. Козаченко О.В. Проектування технологічних процесів технічного обслуговування машин. О.В. Козаченко, С.П. Сорокін - *ХНТУСГ. Харків*, 2005.

УДК 631.31:004.932:629.735.33

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПОВНОТИ ЗАГОРТАННЯ РОСЛИННОЇ МАСИ У ҐРУНТ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА ТА МАШИННОГО ЗОРУ

Ляшенко С. В., Ярчевський В. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність основного та передпосівного обробітку ґрунту значною мірою визначається якістю загортання рослинних решток і бур'янів. Повне переміщення рослинної маси у ґрунтовий шар сприяє її подальшому біологічному розкладанню, накопиченню органічної речовини та

формуванню гумусу. Наявність незагорнутих рослинних решток на поверхні поля свідчить про недостатню якість виконання технологічної операції та може негативно впливати на подальші технологічні процеси.

Традиційні способи оцінювання якості загортання рослин переважно ґрунтуються на візуальному контролі або ручному визначенні кількості незагорнутих решток. Такі методи є трудомісткими, суб'єктивними та не забезпечують оперативного отримання кількісної інформації на значній площі поля. Особливої актуальності набуває створення цифрових засобів контролю, здатних автоматично визначати площу незагорнутої рослинної маси за результатами дистанційного фотографування.

Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є поєднання безпілотних літальних апаратів, цифрової фотозйомки та технологій комп'ютерного зору. Такий підхід дає змогу перейти від суб'єктивної візуальної оцінки до кількісного визначення показника повноти загортання рослинних решток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний розвиток точного землеробства супроводжується широким використанням безпілотних літальних апаратів для дистанційного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Застосування БПЛА дає можливість оперативно отримувати цифрові зображення поверхні поля, формувати ортофотоплани та здійснювати аналіз просторового розподілу рослинності.

Для підвищення точності дистанційного контролю використовуються системи стабілізації камер, геоприв'язка зображень та технології фотограмметричної обробки. Зокрема, комплекс XAG V40 із системою RealTerra забезпечує отримання детальних зображень та їх подальше об'єднання у цифрові карти поля. Це створює технологічну основу для контролю якості ґрунтообробних операцій без необхідності суцільного наземного обстеження [1-5].

Важливим елементом цифрового аналізу є застосування алгоритмів машинного зору для автоматичного виділення рослинної маси на фоні ґрунту. Одним із найбільш доступних підходів є сегментація зображення за кольоровими ознаками. Для цього доцільно використовувати колірну модель HSV (Hue, Saturation, Value), яка дає змогу ефективніше відокремлювати зелені об'єкти від темного фону ґрунту порівняно з безпосередньою обробкою зображення у моделі RGB.

Для реалізації алгоритмів комп'ютерного зору можуть застосовуватися мова програмування Python та бібліотеки OpenCV і NumPy. OpenCV містить інструменти для цифрової обробки зображень, виділення контурів, сегментації об'єктів та аналізу відеопотоку, тоді як NumPy забезпечує ефективну роботу з масивами даних і виконання математичних операцій [6-9].

Перспективним є також використання спеціалізованих програмних засобів машинного зору, зокрема програми «Слідопит», яка дає можливість автоматизувати виділення рослинних об'єктів на цифрових зображеннях та визначати їх сумарну площу. Однак для практичного застосування такого підходу необхідно обґрунтувати алгоритм оцінювання повноти загортання

рослинної маси та перевірити його працездатність на реальних або модельних зображеннях поверхні ґрунту.

Мета. Метою дослідження є розроблення та апробація цифрового методу оцінювання повноти загортання рослинної маси у ґрунт на основі дистанційної фотозйомки з безпілотного літального апарата та автоматизованого аналізу зображень засобами машинного зору.

Для досягнення поставленої мети необхідно сформувати алгоритм отримання цифрових зображень поверхні ґрунту, розробити процедуру автоматичного виділення незагорнутих рослинних решток, визначити їх площу та встановити відсоткове співвідношення площі рослинної маси до загальної площі досліджуваної ділянки.

Результати досліджень. Запропонований метод базується на послідовному виконанні операцій дистанційної фотозйомки, цифрової обробки зображення та кількісної оцінки площі незагорнутої рослинної маси. Загальна структурна схема методу передбачає використання БПЛА з цифровою камерою, передачу отриманих зображень на комп'ютер та їх автоматизований аналіз за допомогою програмного забезпечення машинного зору.

Під час дослідження безпілотний літальний апарат XAG V40 переміщується до заданої точки над обробленою ділянкою поля. Камера здійснює фотографування поверхні ґрунту з визначеної висоти, після чого отримані зображення передаються для подальшої комп'ютерної обробки. Використання стабілізації камери забезпечує зменшення впливу коливань БПЛА та підвищує якість цифрового матеріалу.

Зображення надходить до програмного середовища, де спочатку визначається його загальна площа у пікселях. Далі виконується попередня обробка та кольорова сегментація. Для виявлення рослинної маси використовується модель HSV, у якій за заданими діапазонами відтінку, насиченості та яскравості формується маска рослинних об'єктів.

Після сегментації визначаються контури виявлених ділянок рослинності. Для кожного об'єкта встановлюються геометричні характеристики, після чого розраховується їх сумарна площа. На наступному етапі визначається частка незагорнутої рослинної маси у відсотках.

Таким чином, цифровий алгоритм передбачає сім основних етапів: отримання зображення, визначення його розміру, кольорову сегментацію, виділення контурів рослинної маси, визначення площі окремих об'єктів, розрахунок їх сумарної площі та визначення частки незагорнутої рослинності.

Практичну реалізацію алгоритму можна здійснити мовою програмування Python із використанням бібліотек OpenCV та NumPy. Функціональні можливості OpenCV забезпечують зчитування цифрових зображень, перетворення кольорових моделей, фільтрацію, сегментацію та пошук контурів. NumPy використовується для математичного опрацювання масивів пікселів та виконання розрахункових операцій.

Для апробації запропонованого підходу було використано тестове цифрове зображення поверхні ґрунту з розміщеними на ній моделями рослинної маси. У процесі автоматизованої обробки програмне забезпечення здійснило

ідентифікацію рослинних об'єктів, визначило їх контури та сформувало результати кількісного аналізу.

Загальна площа досліджуваного зображення становила 261047 пікселів, тоді як сумарна площа розпізнаних рослинних об'єктів – 11340 пікселів.

Отриманий результат свідчить про можливість використання цифрового аналізу зображень для оперативної оцінки якості загортання рослинних решток. Візуалізація результатів додатково забезпечує контроль правильності розпізнавання, оскільки на вихідному зображенні виділяються контури виявлених рослинних об'єктів.

Перевагою запропонованого підходу є можливість автоматизувати процес оцінювання значних площ поля та отримувати кількісні показники без проведення великої кількості ручних вимірювань. Поєднання БПЛА, цифрової фотозйомки та алгоритмів машинного зору створює передумови для формування системи оперативного контролю якості роботи ґрунтообробних агрегатів.

Перспективним напрямом удосконалення методу є геопросторова прив'язка результатів аналізу та формування карт неоднорідності загортання рослинних решток. Це дасть змогу визначати ділянки поля з недостатньою якістю виконання технологічної операції та встановлювати можливі причини її виникнення, зокрема нерівномірність глибини обробітку, незадовільний технічний стан робочих органів або невідповідність режимів роботи агрегату заданим агротехнічним вимогам..

Висновки. Запропоновано цифровий підхід до оцінювання повноти загортання рослинної маси, що поєднує дистанційну фотозйомку поверхні поля з БПЛА та автоматизований аналіз цифрових зображень засобами машинного зору.

Розроблений алгоритм передбачає визначення загальної площі зображення, кольорову сегментацію рослинних об'єктів у моделі HSV, виділення їх контурів, розрахунок сумарної площі та визначення частки незагорнутої рослинної маси.

Для реалізації методу доцільним є використання програмного середовища Python із бібліотеками OpenCV та NumPy, які забезпечують необхідні функції цифрової обробки зображень і математичного аналізу отриманих даних.

За результатами тестового розпізнавання при загальній площі зображення 261047 пікселів площа виявленої рослинної маси становила 11340 пікселів, що відповідає 4,34 % площі зображення. Отримане значення відповідає прийнятим агротехнічним вимогам до якості загортання рослинної маси.

Використання БПЛА та технологій машинного зору дає змогу перейти від суб'єктивної візуальної оцінки якості роботи ґрунтообробних агрегатів до автоматизованого кількісного контролю. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення точності сегментації рослинних решток, калібрування результатів у реальних площинних одиницях та створення карт просторової неоднорідності якості загортання.

Список використаних джерел

1. Джеремі Дженсен Сільськогосподарські дрони: як дрони революціонізують сільське господарство і виходять на цей бурхливий ринок. uav coach18 квітня 2019 року. url: https://uavcoach.com/agricultural-drones (останній доступ: 2019).
2. He Xiongkui, Bonds Jane, Herbst Andreas, Langenakens Jan. Останні розробки безпілотних літальних апаратів для захисту рослин у Східній Азії. міжнародний журнал сільськогосподарської та біологічної інженерії. 2019. № 10. 3. с. 18-30. doi: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248
3. Глобальний огляд безпілотників. Агробізнес сьогодні.URL: http://agrobusiness.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/12613-doslidzhennia-dronivu-sviti.html. (дата звернення: 07.10.2026).
4. Офіційний сайт американської дослідницької компанії AUVSI: https://www.auvsi.org/.
5. Маркетинговий підхід до аналізу конкурентоспроможності безпілотних літальних апаратів Комісарчик О.Є., https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/10779/1/58.pdf. (дата звернення: 07.10.2026).
6. Сучасні тенденції розвитку інтегрованих інерціальних супутникових навігаційних систем для літальних апаратів. Наукові праці Національного авіаційного інституту. 2023. № 9 (16). С. 77-85.
7. Ваш путівник по комп'ютерному зору в технології безпілотних літальних апаратів. url: https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology (дата звернення: 07.10.2026).
8. Комп'ютерний зір у дронах зі штучним інтелектом. URL: https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-in-ai-drones (дата звернення: 07.10.2026).
9. Автоматизоване дистанційне спостереження: як системи менатір допомагають компаніям приймати обґрунтовані бізнес-рішення. url: https://culver.aero/articles/how-menatir-system-helps-businesses-makeinformedmanagement-decisions (дата звернення: 07.10.2026).

УДК 631.6:631.3

СУЧАСНІ МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ ТА НАПРЯМИ ЇХ РОЗВИТКУ

Бундза О.З., Михайлов А. О., Змієвська О. Г.
Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Нерівномірність опадів, посушливі періоди та локальне перезволоження земель підвищують потребу в ефективному регулюванні водного режиму ґрунту. Меліоративна мережа потребує відновлення з урахуванням її фактичного стану та сучасних умов використання

земель [1]. Водночас машини мають забезпечувати точність робіт, економне використання води й енергії та мінімальне ущільнення ґрунту.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженнях розглянуто лазерне і супутникове керування плануванням поверхні [2], розвиток способів прокладання підземного дренажу [3], удосконалення дощувального й мікрозрошувального обладнання [4] та диференційоване зрошення [5]. Сучасний огляд траншейних машин висвітлює автоматизоване сприйняття умов роботи та керування робочими органами [6]. Окремі напрями досліджено докладно, проте їх узагальнення за функціональним призначенням машин необхідне для визначення спільних тенденцій розвитку.

Мета досліджень. Систематизувати основні групи сучасних меліоративних машин, порівняти їх конструктивні й технологічні особливості та визначити перспективні напрями вдосконалення.

Результати досліджень. За функціональним призначенням технічні засоби охоплюють машини для планування поверхні, будівництва й очищення каналів, прокладання трубчастого та кротового дренажу, дощувальні установки, обладнання мікрозрошення й автоматизовані регулятори рівня води. Їх вибір визначають властивості ґрунту, необхідна точність, обсяг земляних робіт, витрати енергії та умови експлуатації.

У плануванні земель відвали з механічним або гідравлічним регулюванням доповнюють лазерними системами та GNSS/RTK-навігацією. Контролер змінює положення робочого органа відповідно до опорної площини або цифрової моделі рельєфу, що дає змогу точніше формувати проєктну поверхню [2].

Для закритого дренажу використовують траншейні машини з ланцюговими, роторними чи фрезерними органами та безтраншейні дреноукладачі з ножовим або плужним органом. Перші полегшують контроль укладання труби й фільтрувального матеріалу, але переміщують більше ґрунту; другі менше порушують поверхню, проте потребують значного тягового зусилля. Гнучкі полімерні труби забезпечують безперервне механізоване укладання [3]. Точне підтримання глибини й ухилу дрен є ключовою вимогою. Кротові плуги формують безтрубні канали; їх довговічність залежить від властивостей і вологості ґрунту.

Каналокопачі й траншейні машини формують відкриті водотоки, а змінні робочі органи каналоочисників видаляють мул і рослинність та відновлюють профіль дна й укосів. Для таких робіт перспективні модульні агрегати та автоматичне керування глибиною, що узгоджується з розвитком інтелектуальних траншейних машин [6].

Зрошувальна техніка включає кругові й фронтальні дощувальні машини, барабанні установки та системи краплинного зрошення. Рівномірність подачі води залежить від насадок, тиску, швидкості руху, рельєфу й вітру. Для мікрозрошення важливі фільтрація та запобігання засміченню емітерів [4]. Диференційоване зрошення змінює норму води за керованими зонами поля з використанням даних вологості ґрунту, карт та інших засобів моніторингу [5].

Серед спільних обмежень залишаються енерговитрати насосних систем, тяговий опір земляних робіт, колієутворення під опорними візками та

необхідність обслуговування мережі. Тому ефективність модернізації доцільно оцінювати одночасно за якістю водорегулювання, витратами води й енергії та впливом машин на ґрунт.

Висновки. Основні напрями розвитку меліоративної техніки – автоматичне підтримання параметрів робочих органів, GNSS/GIS-прив'язка виконаних робіт, дистанційний моніторинг, модульні конструкції та керування поливом за фактичною потребою ділянок поля. Під час вибору машини необхідно враховувати не лише її продуктивність, а й енергоємність, точність та питомий тиск рушіїв на ґрунт.

Список використаних джерел

1. Voropai H. V., Kharlamov O. I., Panteleiev V. P. General aspects of restoration (reconstruction) of drainage systems on agricultural lands (review of publications). Land Reclamation and Water Management. 2023. No. 1. P. 14–25. 0.

2. Chen G. et al. A review of global precision land-leveling technologies and implements: Current status, challenges and future trends. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 220. Article 108901. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108901.

3. Yannopoulos S. I., Grismer M. E., Bali K. M., Angelakis A. N. Evolution of the materials and methods used for subsurface drainage of agricultural lands from antiquity to the present. Water. 2020. Vol. 12, No. 6. Article 1767. DOI: 10.3390/w12061767.

4. Liu J. et al. Research and development trend of agricultural water-saving sprinkler and micro-irrigation equipment in China. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. 2022. Vol. 40, No. 1. P. 87–96. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8530.21.0259.

5. Neupane J., Guo W. Agronomic basis and strategies for precision water management: A review. Agronomy. 2019. Vol. 9, No. 2. Article 87. DOI: 10.3390/agronomy9020087.

6. Li Q. et al. Advancing agricultural trenching operations: A review of intelligent machinery, system integration, and development pathways. Computers and Electronics in Agriculture. 2026. Vol. 246. Article 111678. DOI: 10.1016/j.compag.2026.111678.

УДК 631.348:004.896

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГУСЕНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ТОЧКОВОГО ОБПРИСКУВАННЯ БУР'ЯНІВ

Голотюк М. В., Михайлов А. О.

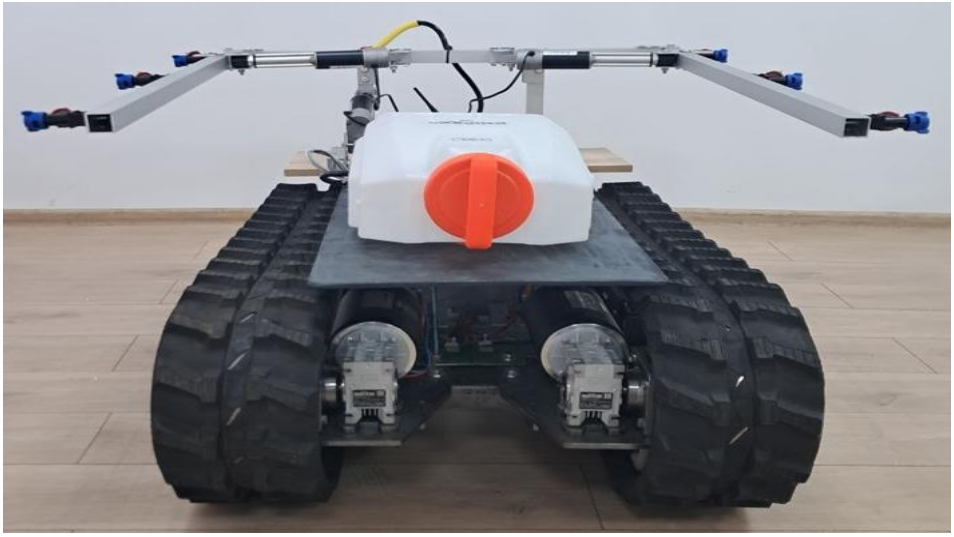
Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми**.** Раціональне застосування засобів захисту рослин є важливою складовою сучасних технологій точного землеробства. Одним із перспективних напрямів є локалізоване внесення гербіцидів, яке дає змогу зменшити необґрунтовану хімічну обробку посівів і підвищити ефективність

використання робочого розчину. Особливого значення такі технології набувають у поєднанні з компактними роботизованими платформами, здатними працювати в різних виробничих умовах. Оскільки суцільне внесення гербіциду охоплює ділянки без бур'янів, точкове обприскування дає змогу обмежити обробку виявленими осередками, але його практичний ефект залежить від розпізнавання рослин, своєчасного відкривання клапана, покриття цілі та польових умов. Для малих господарств актуальна компактна платформа, яку можна використовувати в полі й теплиці. Водночас виявлення бур'яна камерою саме по собі ще не доводить зменшення витрати робочого розчину або загибелі бур'яна.

Аналіз останніх досліджень. M. Darbyshire та інші у своїй праці [1] запропонували оцінювати систему за часткою бур'янів у зоні розпилення та площею обприскування: у їхній моделі можна охопити 93 % бур'янів за обробки 30 % площі. Це розрахунковий результат, а не польове вимірювання витрати. У польових дослідах роботи M. Spaeth [2] зафіксували економію гербіциду на 10–55 % без істотного погіршення контролю бур'янів порівняно із суцільним обприскуванням. У роботі P. Malkani [3] для самохідного аплікатора міжрядь отримали 40 % зменшення витрати гербіциду й 91,26 % ефективності знищення бур'янів. На плантаціях цукрової тростини вказаних в праці M. Rahimi Azghadi [4] повідомили про середнє скорочення витрати на 35 % за ефективності точкового обприскування на рівні 97 % від суцільного на 25 га. Різниця культур, забур'яненості та методик не дає підстав прямо ранжувати ці системи за наведеними відсотками.

Мета досліджень. Оцінити конструктивні переваги, обмеження та перспективи застосування розробленої гусеничної платформи для точкового обприскування бур'янів шляхом зіставлення її характеристик і наявних результатів випробувань із опублікованими системами.



Результати досліджень. За матеріалами дослідного зразка платформа має два гусеничні модулі, живлення 24 В від аккумуляторного блока 960 Вт·год, бак 16 л, штангу із вісьмома щілинними форсунками та ширину захвату 3 м. Камери

розміщені біля форсунок; форсунки можна переміщувати вздовж штанги, а секції переводити у вертикальне положення для обробки кущів або рослин у теплиці. У вихідному польовому випробуванні на 25 ділянках правильно виявлено в середньому 85,3 % бур'янів; рекомендована швидкість руху – 2 км/год. За цих параметрів розрахункова продуктивність за шириною захвату становить 0,6 га/год (3 м × 2 км/год ÷ 10), без урахування розворотів, простоїв і заправляння бака.

Порівняно із самохідним аплікатором міжрядь [3] дослідний зразок має гусеничний рушій, ширшу штангу та можливість змінювати її орієнтацію; це конструктивні відмінності, а не доведена перевага за витратою гербіциду. Порівняно з оцінками [1, 2, 4] для нього наразі підтверджено лише показник розпізнавання. Показники 85,3 % розпізнавання, 91,26 % знищення [3] і 97 % відносної ефективності контролю [4] вимірюють різні результати та не є взаємозамінними. Перспективними є синхронізація камер і клапанів з урахуванням швидкості руху, перевірка фактичного осідання крапель, адаптація алгоритму до різних культур та освітлення, а також оцінка прохідності, запасу ходу й економіки застосування.

Висновки. Гусенична платформа має потенціал для точкового внесення гербіциду на невеликих площах і для обробки рослин за зміненої орієнтації штанг. Польовий показник розпізнавання 85,3 % за швидкості 2 км/год свідчить про працездатність системи виявлення, проте не підтверджує економію гербіциду чи агрономічну ефективність обприскування. Наступний етап – порівняльні польові досліди із суцільним обприскуванням за однакових умов із вимірюванням пропусків, покриття цілей, обсягу витраченого розчину, контролю бур'янів та енергоспоживання.

Список використаних джерел

1. Darbyshire M., Salazar-Gomez A., Gao J., Sklar E. I., Parsons S. Towards practical object detection for weed spraying in precision agriculture. Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Art. 1183277. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1183277

2. Spaeth M., Sökefeld M., Schwaderer P. et al. Smart sprayer a technology for site-specific herbicide application. Crop Protection. 2024. Vol. 177. Art. 106564. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106564

3. Malkani P., Mani I., Sahoo P. K. et al. Development and evaluation of a sensor enabled smart herbicide applicator for inter row crops. Smart Agricultural Technology. 2024. Vol. 9. Art. 100649. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100649

4. Rahimi Azghadi M., Olsen A., Wood J. et al. Precision robotic spot-spraying: Reducing herbicide use and enhancing environmental outcomes in sugarcane. Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 235. Art. 110365. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110365

УДК 631.171:631.3.075

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ПОЛЬОВИХ АГРЕГАТІВ ІЗ ПОВНОКЕРОВАНОЮ КОЛІСНОЮ СИСТЕМОЮ

Назарук Р. І., Заєць М. Л.
Поліський національний університет

Постановка проблеми. Автоматизація польових технологічних операцій потребує точного формування траєкторії машинно-тракторного агрегату не лише на робочих проходах, а й на поворотних смугах. Найбільш складними є перехідні режими входу та виходу з повороту, коли радіус кривизни змінюється безперервно. Для енергетичних засобів із чотирма керованими колесами додатково реалізуються коловий і крабовий режими, що підвищують маневровість, але потребують узгодженого керування передньою та задньою осями. Тому практичний інтерес становлять кінематичні моделі з невисокою обчислювальною складністю, придатні для використання у системах автоматичного водіння.

Аналіз останніх досліджень. Qu та співавт. [2] дослідили перехідні процеси під час перемикання режимів керування чотириколісного сільськогосподарського робота. Li та співавт. [3] розробили систему крабового керування самохідного обприскувача і підтвердили її працездатність польовими випробуваннями. Cui та співавт. [4] реалізували на польовій роботизованій платформі режими Ackermann, 4WS, крабовий і нульового радіуса, а Nguyen та співавт. [5] запропонували MPC-підхід до автоматичного вибору режиму 4WS. Наведені результати підтверджують актуальність повнокерованих схем, однак для бортового керування важливим залишається скорочення кількості розрахункових параметрів без суттєвої втрати точності.

Мета досліджень – обґрунтувати кінематичні параметри криволінійного руху польового агрегату з усіма керованими колесами, оцінити відповідність розрахункових траєкторій експериментальним та визначити технологічний ефект застосування повнокерованого режиму.

Результати досліджень. Розрахункова схема ґрунтується на русі центра мас чотириколісного енергетичного засобу з незалежним формуванням середніх кутів повороту передніх і задніх коліс. Траєкторія визначається взаємозв’язком курсового кута, кута повороту остова та інтенсивності зміни кутів керованих коліс. Такий підхід дає змогу описувати перехід від прямолінійного до криволінійного руху без заміни перехідних ділянок сукупністю прямих і дуг постійного радіуса [1].

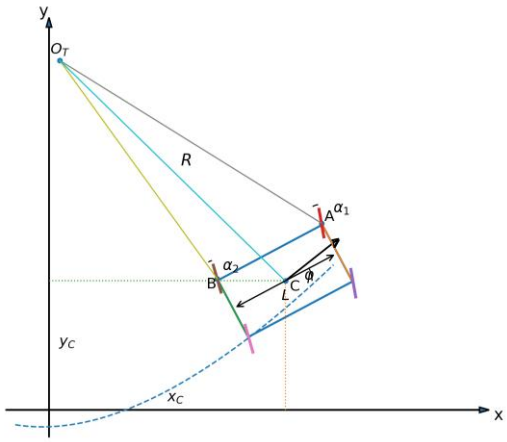


Рис. 1 – Кінематична схема входу енергетичного засобу в поворот за повноколісною схемою (наукове графічне опрацювання за [1])

Отримане параметричне подання координат придатне для моделювання входу і виходу з лівого або правого повороту, колового та крабового руху. Розрахунок реалізується у табличному процесорі без складних чисельних процедур, що полегшує застосування моделі у бортових алгоритмах. Для перевірки підходу розглянуто три маневри: петлеподібний розворот із керованими передніми колесами; комбінований розворот з використанням передньої осі на перехідних ділянках і всіх коліс на коловій частині; крабовий рух [1].

Порівняння розрахункових та експериментальних координат показало високий рівень узгодження. Коефіцієнт кореляції Пірсона становив 0,9996; 0,9889 та 0,9744 відповідно для трьох досліджених маневрів. Розраховані значення критерію χ^2 в усіх випадках були нижчими за критичні, а p-value дорівнював 0,892; 0,997 та 0,7546, що підтверджує відсутність статистично значущих розбіжностей між моделлю й експериментом [1].

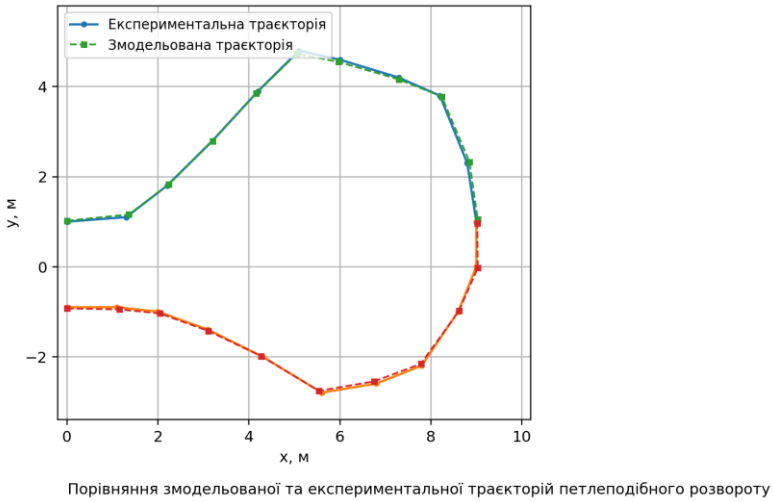


Рис. 2 – Порівняння змодельованої та експериментальної траєкторій петлеподібного розвороту (наукове графічне опрацювання за [1])

Технологічний ефект повнокерованої схеми оцінено для агрегату CLAAS XERION 5000 з бороною Lemken Gigant 10/1200 Heliodor. Залучення всіх керованих коліс під час петлеподібного розвороту зменшило ширину поворотної смуги на 11 м. Коефіцієнт використання робочих ходів збільшився з 0,9505 до 0,9623, коефіцієнт використання часу зміни – з 0,843 до 0,865, а годинна продуктивність – з 13,36 до 13,71 га/год, тобто приблизно на 2,6 % [1].

Висновки. Запропонований підхід до кінематичного опису повнокерованого енергетичного засобу дозволяє уніфіковано моделювати перехідні, колові та крабові маневри за невисокої обчислювальної складності. Експериментальна перевірка підтвердила високу відповідність розрахункових траєкторій фактичним. Використання всіх керованих коліс скорочує ширину поворотної смуги та непродуктивний шлях агрегату, що створює передумови для підвищення продуктивності й інтеграції таких моделей до систем автоматичного водіння.

Список використаних джерел

1. Калнагуз О. М. Моделювання криволінійного руху польових агрегатів зі всіма керованими колесами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Кропивницький: Центральноукраїнський національний технічний університет, 2026. 28 с.

2. Qu J., Li H., Zhang Z., Xi X., Zhang R., Guo K. Performance Analysis and Optimization for Steering Motion Mode Switching of an Agricultural Four-Wheel-Steering Mobile Robot. Agronomy. 2022. Vol. 12, No. 11. 2655. DOI: 10.3390/agronomy12112655.

3. Li W., Yang F., Mao E., Shao M., Sui H., Du Y. Design and Verification of Crab Steering System for High Clearance Self-Propelled Sprayer. Agriculture. 2022. Vol. 12, No. 11. 1893. DOI: 10.3390/agriculture12111893.

4. Cui L., Le F., Xue X., Sun T., Jiao Y. Design and Experiment of an Agricultural Field Management Robot and Its Navigation Control System. Agronomy. 2024. Vol. 14, No. 4. 654. DOI: 10.3390/agronomy14040654.

5. Nguyen N. T., Gangavarapu P. T., Mandel N., Bruder R., Ernst F. Motion Planning for 4WS Vehicle with Autonomous Selection of Steering Modes via an MIQP-MPC Controller. 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2024. P. 9765–9771. DOI: 10.1109/ICRA57147.2024.10610461.

УДК 631.171:004.9

ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ОПЕРАТОРА ТА ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В АГРАРНИХ МАШИНАХ

Невмержицький Т. В.
Поліський національний університет

Постановка проблеми. Подальше підвищення ефективності аграрних машин пов’язане не лише з удосконаленням їх механічних систем, а й з інтеграцією геопросторових даних, сенсорного моніторингу, автоматичного регулювання та інтелектуальної підтримки оператора. Просторова неоднорідність ґрунту, посівів і урожайності потребує локального коригування технологічних параметрів, тоді як зростання кількості доступних даних ускладнює оперативне прийняття рішень людиною. Отже, актуальним є формування єдиного інформаційно-керуючого середовища, у якому технології точного землеробства та системи підтримки оператора функціонують як взаємопов’язані компоненти замкненого контуру керування.

Аналіз останніх досліджень. Технології site-specific crop management базуються на GNSS/GIS-прив’язці даних, сенсорному оцінюванні стану агрофітоценозу, картуванні урожайності та диференційованому внесенні ресурсів. Поєднання IoT-сенсорів, просторових баз даних і аналітичних алгоритмів забезпечує перехід від середньопольових норм до керування окремими зонами [4]. Водночас сучасні системи підтримки оператора концентрують функції візуалізації, оптимізації режимів, автоматичного водіння та телематичного супроводу. Стандарт ISO 11783 регламентує обмін даними між трактором, агрегатованою машиною та інформаційною системою господарства, а Task Controller забезпечує реалізацію технологічних карт-завдань [2, 3]. Таким чином, технологічна ефективність визначається не окремою системою, а якістю їх функціональної інтеграції.

Мета досліджень – сформувати узагальнену інформаційно-функціональну структуру інтеграції систем підтримки оператора з технологіями точного землеробства та обґрунтувати принцип замкненого керування аграрною машиною на основі сенсорних, геопросторових і технологічних даних.

Результати досліджень. Узагальнення функцій CEBIS, CEMOS, GNSS-навігації, TELEMATICS, ISOBUS, Task Controller, картування урожайності та систем диференційованого внесення дозволило запропонувати багаторівневу архітектуру інтегрованого керування. На сенсорному рівні формуються дані про параметри машини, робочих органів, ґрунту, посіву та технологічного матеріалу. Геопросторовий рівень забезпечує координатну прив’язку цих даних, їх накопичення у GIS і формування технологічно однорідних зон. Комунікаційний рівень CAN/ISOBUS уніфікує обмін між електронними блоками керування, терміналом і агрегатованим знаряддям.



Рис. 1 – Узагальнена архітектура інтеграції систем підтримки оператора і точного землеробства

Інтелектуальний рівень виконує перетворення вимірювань у рекомендації та керуючі дії. Зокрема, системи класу CEMOS можуть використовувати поточні параметри технологічного процесу для оптимізації налаштувань, а бортовий термінал CEBIS виконує функції людино-машинного інтерфейсу. GNSS-навігація забезпечує просторову точність руху, Task Controller перетворює карту-завдання на команди виконавчим механізмам, а телематичні системи формують канал дистанційної діагностики, документування та сервісного супроводу.

Ключовою відмінністю інтегрованої системи є наявність зворотного зв’язку від фактичного результату технологічної операції. Під час збирання дані датчиків потоку зерна, вологості, швидкості руху, ширини захвату та GNSS-координат використовуються для формування карти урожайності. Отриманий просторовий шар повертається до бази даних поля і в наступному виробничому циклі може застосовуватися разом із картами властивостей ґрунту, біомаси або забезпеченості елементами живлення для зонування і створення нових аплікаційних карт.

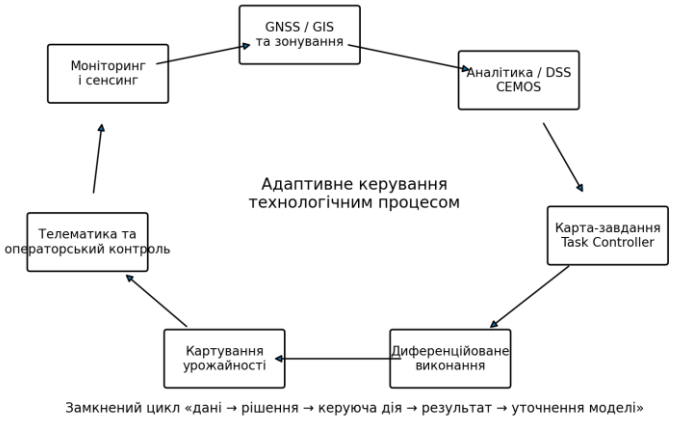


Рис. 2 – Замкнений цикл адаптивного керування агротехнологічним процесом

У запропонованій структурі роль оператора змінюється: замість постійного ручного регулювання він задає технологічні цілі, контролює обмеження, оцінює рекомендації системи та підтверджує критичні рішення. Такий підхід зменшує інформаційне навантаження і водночас зберігає можливість ручного втручання. Науково-технічний ефект інтеграції полягає в переході від автономних інформаційних підсистем до кіберфізичного контуру, де геопросторовий аналіз, інтелектуальна підтримка, машинне виконання та документування утворюють єдиний цикл.

Висновки. Поєднання технологій точного землеробства із системами підтримки оператора доцільно реалізовувати як замкнену інформаційно-керуючу систему «сенсинг – геопросторовий аналіз – оптимізація – карта-завдання – автоматизоване виконання – картування результату». Функціональна інтеграція GNSS/GIS, CEBIS/CEMOS, ISOBUS/Task Controller і TELEMATICS забезпечує узгоджене використання даних на рівнях машини, технологічного процесу та господарства. Перспективним напрямом подальшого розвитку є підвищення інтероперабельності, достовірності сенсорної інформації та адаптивності алгоритмів прийняття рішень з урахуванням агрономічних, технічних і економічних критеріїв.

Список використаних джерел

1. CLAAS KGaA mbH. CEMOS: система оптимізації машини та підтримки оператора. Офіційний ресурс CLAAS.

2. ISO 11783-1:2017. Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 1: General standard for mobile data communication. Geneva: ISO, 2017.

3. ISO 11783-10:2015. Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 10: Task controller and management information system data interchange. Geneva: ISO, 2015.

4. Alahmad T., Neményi M., Nyéki A. Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. Agronomy. 2023. Vol. 13, No. 10. 2603. DOI: 10.3390/agronomy13102603.

5. Zhai Z., Martínez J. F., Beltran V., Martínez N. L. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 170. 105256. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105256.

УДК 629.33:621.43.038

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Некрутенко О. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасні дизельні двигуни сільськогосподарської техніки характеризуються високими вимогами до точності дозування палива, моменту його впорскування, якості розпилювання та стабільності роботи паливної апаратури. Паливоподаюча система є одним із визначальних елементів, що формує умови перебігу процесу згоряння та, відповідно, впливає на потужність, паливну економічність, токсичність відпрацьованих газів і надійність двигуна.

Особливе місце серед паливних систем дизельних двигунів займають системи з насос-форсунками, у яких створення високого тиску та впорскування палива конструктивно поєднані в одному вузлі. Технічний стан насос-форсунки визначається сукупністю параметрів прецизійних пар, пружинного механізму, розпилювача, робочих зазорів та гідравлічних характеристик.

У процесі експлуатації відбувається зношування прецизійних поверхонь, зміна геометрії розпилювальних отворів, порушення герметичності, зміна характеристик пружини та утворення відкладень. Такі зміни можуть призводити до відхилення параметрів упорскування від номінальних значень і, як наслідок, погіршення показників роботи двигуна.

Тому актуальним завданням технічного сервісу є вдосконалення методів діагностування насос-форсунок, які забезпечують своєчасне виявлення дефектів без необґрунтованого розбирання та заміни працездатних елементів.

Аналіз останніх досліджень. Для оцінювання технічного стану паливної апаратури доцільно розрізняти структурні та діагностичні параметри. Структурні параметри безпосередньо характеризують стан окремих деталей і вузлів: величину зносу прецизійних пар, робочі зазори, геометричні параметри поверхонь, жорсткість пружини, стан розпилювальних отворів тощо.

Діагностичні параметри є інтегральними характеристиками, які відображають результат сукупного впливу декількох структурних змін. До таких параметрів можуть належати тиск у різних ділянках паливної системи, тривалість подачі палива, максимальне та залишкове значення тиску, швидкість його наростання і характер зміни тиску в часі.

Особливий інтерес становлять методи безрозбірної діагностики, засновані на реєстрації та аналізі динамічних процесів у паливній системі. Аналіз сигналів тиску дозволяє визначати характерні моменти процесу впорскування та пов'язувати параметри отриманих сигналів із технічним станом елементів системи.

Сучасні дослідження розвивають цей підхід у напрямі оцінювання фактичної кількості впорскнутого палива та його витрати за непрямими параметрами.

Значна увага приділяється також методам цифрового аналізу сигналів. Для діагностування паливної апаратури застосовуються статистичний аналіз, спектральні та часо-частотні методи, а також алгоритми машинного навчання.

Отже, розвиток діагностичних технологій відбувається у напрямі переходу від оцінювання окремих контрольних параметрів до комплексного аналізу динамічних сигналів та автоматизованого визначення технічного стану паливної апаратури.

Мета досліджень. Метою роботи є удосконалення підходів до діагностування технічного стану насос-форсунок дизельних двигунів сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування раціональної системи діагностичних параметрів та використання інформації про динаміку тиску під час процесу впорскування.

Результати досліджень. Аналіз конструкції та умов роботи насос-форсунок показав, що технічний стан їх основних елементів може бути оцінений за сукупністю параметрів, які безпосередньо або опосередковано характеризують процес подачі та впорскування палива.

До структурних параметрів доцільно віднести зношування прецизійних пар, величину робочих зазорів, геометричні характеристики робочих поверхонь, стан пружини та розпилювача. Зміна кожного з цих параметрів впливає на гідравлічні характеристики насос-форсунки та може проявлятися у зміні діагностичного сигналу.

Для безрозбірного контролю найбільш інформативними є параметри, які характеризують динаміку тиску в процесі подачі та впорскування палива. На основі зареєстрованої осцилограми можна визначати середній і максимальний тиск, залишковий тиск, тривалість процесу подачі, швидкість наростання тиску та характерні моменти зміни його величини. Такий набір параметрів уже сформований як перспективна система діагностичних ознак у дослідженнях насос-форсунок.

Інформативність окремих параметрів пов'язана з характером виникнення дефекту. Зміщення максимуму тиску та зміна початкової ділянки кривої можуть свідчити про порушення роботи плунжерної пари або приводу насос-форсунки. Характер падіння тиску під час відкриття голки пов'язаний із параметрами пружини та станом прецизійної пари розпилювача.

Таким чином, діагностичну інформацію доцільно отримувати не лише з абсолютних значень тиску, а й із форми та часових характеристик осцилограми. Такий підхід дозволяє підвищити інформативність контролю та розширити можливості ідентифікації окремих дефектів.

Важливим критерієм вибору діагностичних параметрів є їхня інформативність. Параметр повинен чутливо реагувати на певний дефект, мати достатню стабільність результатів вимірювання та забезпечувати можливість повторного отримання результату в аналогічних умовах. При цьому доцільно

враховувати ймовірність помилок першого роду, коли несправність залишається невиявленою, та другого роду, коли справний вузол помилково визнається несправним.

Для підвищення ефективності діагностики доцільно перейти від аналізу одного параметра до багатопараметричної оцінки.

Перспективність використання тиску як джерела діагностичної інформації підтверджується сучасними дослідженнями. Сучасні моделі також дозволяють за динамікою тиску оцінювати фактичну кількість впорскнутого палива та зміни характеристик системи внаслідок деградації компонентів.

Наступним етапом розвитку такого підходу може бути цифрове опрацювання осцилограм. Застосування алгоритмів цифрової обробки сигналів створює можливість автоматизувати виділення характерних точок осцилограми та зменшити суб'єктивність оцінювання. У подальшому сформований масив діагностичних ознак може використовуватися як вхідна інформація для алгоритмів класифікації технічного стану.

Особливо перспективним є використання методів машинного навчання для оброблення багатопараметричних діагностичних даних. Сучасні дослідження в галузі діагностики двигунів демонструють можливість використання часових і частотних характеристик сигналів для автоматизованого виявлення несправностей паливної апаратури.

Водночас для практичного застосування таких методів необхідно сформувати репрезентативні навчальні вибірки, що містять сигнали для справного стану та основних типів дефектів насос-форсунок. Це є одним із ключових напрямів подальших досліджень.

Таким чином, перспективна система діагностування насос-форсунок повинна поєднувати фізично обґрунтовані діагностичні параметри, цифрову реєстрацію сигналів, автоматизоване виділення ознак та алгоритмічне оцінювання технічного стану.

Висновки. Встановлено, що технічний стан насос-форсунок доцільно оцінювати за сукупністю структурних і діагностичних параметрів, що характеризують стан прецизійних пар, розпилювача, пружинного механізму та гідравлічні характеристики процесу впорскування. Обґрунтовано доцільність використання багатопараметричного підходу до оцінювання технічного стану насос-форсунок, оскільки одночасний аналіз декількох діагностичних ознак підвищує інформативність контролю та створює передумови для ідентифікації конкретних дефектів.

Список використаних джерел

1. Розум Р., Буряк М. Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. № 1 (18). С. 138–142.

2. Dalla Nora M., Andersson Ö., Tunér M., Ivarsson A. Injector Nozzle Wear Impact on Diesel Engine Performance and Emissions. *SAE International Journal of Engines*. 2015. Vol. 8, No. 3. P. 1265–1277. DOI: 10.4271/2015-01-0918.

3. Analysis of common rail pressure signal of dual-fuel large industrial engine for identification of injection duration of pilot diesel injectors. *Fuel*. 2018. Vol. 216. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.11.152.

УДК 631.3.004

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Дерев'янко Д. А., Остапенко А. П.
Поліський національний університет,
Хоменко С. М., Шевчук О. А.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Ефективність функціонування агропромислового комплексу значною мірою залежить від технічного стану машинно-тракторного парку та готовності техніки до виконання технологічних операцій у встановлені агротехнічні строки. Особливістю експлуатації більшості сільськогосподарських машин є сезонність їх використання. Значну частину року ґрунтообробні, посівні, збиральні та інші машини не використовуються за призначенням і перебувають на зберіганні. За таких умов важливого значення набуває правильна організація їх зберігання, оскільки атмосферна волога, перепади температур, сонячне випромінювання та інші чинники спричиняють корозію металевих поверхонь, старіння полімерних і гумових матеріалів та погіршення технічного стану машин [1–4].

Метою дослідження є аналіз основних способів зберігання сільськогосподарської техніки, визначення їх переваг і недоліків та встановлення перспективних напрямів удосконалення систем зберігання машин в агропромисловому комплексі.

Зберігання сільськогосподарської техніки являє собою комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на збереження справності та працездатності машин у неробочий період. Залежно від тривалості перерви в експлуатації розрізняють міжзмінне, короткочасне та тривале зберігання. Саме тривале та сезонне зберігання потребує найбільш ретельного очищення, технічного обслуговування, консервації та захисту складових машин.

Аналіз науково-технічних джерел дає змогу виділити основні способи зберігання сільськогосподарської техніки: у закритих приміщеннях, під навісами, на відкритих обладнаних майданчиках та комбінованим способом [1, 2].

Найбільш сприятливі умови забезпечує закритий спосіб зберігання. Машини розміщують у гаражах, ангарах або спеціалізованих сховищах, які захищають їх від атмосферних опадів, прямого сонячного випромінювання та значних температурних коливань. За таких умов зменшується інтенсивність атмосферної корозії, старіння гумових і полімерних деталей та негативний вплив навколишнього середовища на електронне обладнання.

Перевагами закритого способу є високий рівень захисту техніки, підвищення її збережуваності та скорочення обсягів робіт із підготовки до наступного сезону. Основним недоліком є значна вартість будівництва й утримання капітальних споруд. Крім того, сучасна великогабаритна техніка потребує значних площ і відповідних габаритів приміщень.

Більш економічним є зберігання техніки під навісом. У цьому випадку машина захищена від прямих атмосферних опадів і сонячного випромінювання, однак залишається частково відкритою для впливу вологості повітря, вітру та низьких температур. Порівняно з капітальними спорудами навіси мають простішу конструкцію, меншу матеріаломісткість і вартість.

Перспективними є збірно-розбірні та модульні конструкції навісів. Їх застосування дозволяє змінювати площу зберігання залежно від кількості й габаритів техніки, розширювати споруду шляхом приєднання додаткових секцій та, за необхідності, переміщувати її на іншу виробничу ділянку. Такий підхід є особливо актуальним для господарств зі змінною структурою машинно-тракторного парку.

Найменших початкових витрат потребує відкрите зберігання, коли машини розміщують на спеціально обладнаних майданчиках. За такого способу особливого значення набувають очищення машин, відновлення лакофарбового покриття, нанесення антикорозійних матеріалів, герметизація технологічних отворів, розвантаження шин та демонтаж окремих деталей для складського зберігання.

Основним недоліком відкритого зберігання є безпосередній вплив зовнішнього середовища на конструктивні елементи машин. Особливо небезпечною є атмосферна корозія. Дослідження К. В. Борака, В. Л. Куликівського та Д. І. Рудніка показали, що під час міжсезонного зберігання ґрунтообробної техніки атмосферна корозія поверхонь тертя може призводити до зменшення їх мікротвердості та підвищення інтенсивності подальшого абразивного зношування [3]. Це підтверджує необхідність використання ефективних консерваційних покриттів і належного захисту техніки.

У працях К. В. Борака встановлено, що довговічність робочих органів ґрунтообробних машин визначається комплексною дією конструктивних, технологічних, ґрунтово-кліматичних та експлуатаційних чинників, до яких належать і умови зберігання [2]. Отже, неналежне зберігання необхідно розглядати як фактор, що може суттєво впливати на подальший ресурс машини.

На практиці ефективним є комбінований спосіб зберігання, який передбачає диференційоване розміщення машин залежно від їх вартості, конструктивних особливостей, сезонності використання та чутливості до атмосферних впливів. Дорогі самохідні машини, трактори, комбайни й обладнання зі складними електронними системами доцільно розміщувати у закритих приміщеннях або під навісами. Менш чутливі машини та знаряддя можуть зберігатися на відкритих майданчиках за умови якісної консервації.

Необхідність диференційованого підходу підтверджується дослідженнями В. Ю. Ільченка, Н. О. Пономаренко, В. М. Яропуда та А. С. Бондаренка, які пропонують враховувати пристосованість конструкції тракторів до операцій зберігання та економічну доцільність їх розміщення у закритому приміщенні, під навісом або на відкритому майданчику [4]. Отже, спосіб зберігання слід вибирати з урахуванням вартості техніки, особливостей її конструкції та можливих втрат від погіршення технічного стану.

Підвищення складності та вартості сучасної сільськогосподарської техніки формує нові вимоги до її зберігання. Машини оснащуються електронними блоками керування, датчиками, навігаційними системами та електрогідравлічними приводами. Тому недостатній захист у період простою може спричинити значні витрати на ремонт і відновлення. Питання забезпечення роботоздатності машин необхідно розглядати комплексно – від раціональної експлуатації й технічного сервісу до створення належних умов зберігання [5].

Перспективним напрямом розвитку інфраструктури машинних дворів є використання модульних пристосувань і швидкомонтованих систем для зберігання техніки. Порівняно з традиційними капітальними спорудами вони можуть мати меншу вартість, забезпечувати зміну геометричних розмірів, нарощування кількості секцій та адаптацію до габаритів конкретних машин. При обґрунтуванні їх параметрів необхідно враховувати габарити й масу техніки, технологічні проходи, снігові та вітрові навантаження, характеристики несучих елементів, спосіб закріплення конструкції та умови відведення атмосферних вод.

Раціональна організація зберігання є важливою складовою системи технічного сервісу сільськогосподарських машин і безпосередньо впливає на їх збережуваність, довговічність та готовність до виконання технологічних операцій. Закрите зберігання забезпечує найкращий захист, але характеризується високою вартістю. Відкрите зберігання є найдоступнішим, однак потребує ретельної консервації. Навіси займають проміжне положення та забезпечують раціональне співвідношення між рівнем захисту техніки й витратами.

Список використаних джерел

1. Коновалюк О. В., Кіяшко В. М., Колісник М. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2013. 404 с.

2. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Київ : НУБіП України, 2021. 49 с.

3. Борак К. В., Куликівський В. Л., Руднік Д. І. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2023. № 2. С. 34–43. DOI: 10.31649/2307-5376-2023-2-34-43.

4. Ільченко В. Ю., Пономаренко Н. О., Яропуд В. М., Бондаренко А. С. Дослідження першочерговості постановки тракторів на зберігання. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 3 (98). С. 49–55.

5. Борак К. В., Руденко В. Г., Грудовий Р. С., Гонгало А. Й., Хопяк В. М. Шляхи підвищення роботоздатності сільськогосподарських машин: аналіз технологій та рішень останнього десятиліття. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : збірник тез XI Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир, 2025. С. 72–79.

УДК 621.919.2

РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНЕ КОМБІНОВАНЕ ПРОТЯГУВАННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ІЗ ФОРМУВАННЯМ МАКРОРЕЛЬЄФУ

Паладійчук Ю. Б.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Підвищення ефективності механічної обробки деталей машин із глибокими циліндричними отворами є актуальним завданням сучасного машинобудування. Особливого значення набуває забезпечення необхідної точності розмірів і форми отвору, заданої шорсткості та фізико-механічних характеристик поверхневого шару за одночасного зменшення матеріало- й енергоємності технологічного процесу. Традиційна технологія виготовлення таких деталей передбачає послідовне виконання кількох операцій, що збільшує тривалість технологічного циклу, потребу в обладнанні та інструменті, витрати металу й електроенергії. Перспективним напрямом є комбіноване протягування, під час якого в межах одного робочого ходу послідовно реалізуються деформуюче протягування, формування макрорельєфу та різальне протягування.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження процесів протягування показують, що ефективність оброблення глибоких отворів визначається схемою стружкоутворення, умовами поділу припуску, конструктивними параметрами інструменту та станом поверхневого шару після деформуючої дії [1–3]. Поєднання деформуючих, рельєфоутворювальних і різальних елементів в одному інструменті дає змогу скоротити кількість технологічних переходів та підвищити якість обробленої поверхні. Формування макрорельєфу забезпечує керований поділ припуску перед різальним протягуванням, а контурні канавки можуть додатково виконувати функцію резервуарів для мастильного матеріалу [3, 4].

Мета досліджень. Обґрунтувати параметри ресурсозберігального процесу комбінованого протягування глибоких циліндричних отворів із послідовним деформуванням, рельєфоутворенням і різальним обробленням та визначити його вплив на геометричні й фізико-механічні характеристики обробленої поверхні.

Результати досліджень. Запропонований технологічний процес базується на схемі «деформуюче протягування – рельєфоутворення самообертальними блоками – різальне протягування». Робочі секції розміщуються послідовно на спільній оправці, що дає можливість виконувати основні стадії оброблення отвору за один робочий хід інструменту. Встановлено, що на формування контурних канавок суттєво впливають спадкові властивості поверхні, набуті під час деформуючого протягування: деформаційне зміцнення матеріалу, текстура поверхневого шару, залишкові напруження та хвиля позаконтактної деформації. Розташування рельєфоутворювального елемента в межах цієї зони безпосередньо впливає на фактичну глибину канавки.

Експериментально встановлено, що при розміщенні рельєфоутворювального елемента поблизу максимуму хвилі позаконтактної деформації дійсна глибина контурної канавки може бути майже вдвічі меншою за задану. У зоні затухання хвилі її величина змінюється залежно від усадки або розбивки отвору. Тому відстань між деформуючою та рельєфоутворювальною секціями необхідно враховувати як важливий конструктивно-технологічний параметр комбінованого інструменту.

Дослідження геометричних характеристик поверхонь показали, що раціональні кінематичні параметри, режими протягування та конструкція рельєфоутворювальних елементів дозволяють відтворювати запроєктований макрорельєф, опорну поверхню і мережу контурних канавок. Точність отворів за кривизною твірної становила 0,1–0,15 мм/м, а точність діаметральних розмірів відповідала H7–H9. Поверхневі шари опорної площі та контурних канавок унаслідок послідовної дії робочих елементів протяжки отримують деформаційне зміцнення у 1,3–2,0 рази. Максимальні значення мікротвердості спостерігаються у шарі товщиною приблизно 0,05–0,10 мм. Одночасно формується поле стискуючих тангенціальних залишкових напружень.

За підвищених вимог до чистоти поверхні комбіноване протягування доцільно завершувати фінішним поверхневим пластичним деформуванням, зокрема розкатуванням кульками або роликами. У цьому випадку шорсткість поверхні може бути забезпечена в межах Ra = 0,05–0,15 мкм. Для досліджуваного діапазону деталей рекомендовано швидкість протягування V = 0,05–0,15 м/с, сумарний натяг деформуючої секції 0,1–1,0 мм та підйом на зуб різальної секції Sz = 0,02–0,15 мм. Типовий комбінований інструмент має складатися з деформуючої, рельєфоутворювальної та різальної секцій, розміщених на одній оправці.

Практичну перевірку технології здійснено при виготовленні гільз гідроциліндрів діаметром 80 мм. Комбіноване протягування дозволило замінити традиційну послідовність чорнового і напівчистового розточування та наступного фінішного оброблення одним комплексним технологічним переходом. Застосування гарячекатаної труби 95×10 мм замість 95×12 мм зменшило витрати металу. Для дослідної партії гільз отримано точність за криволінійністю твірної 0,1–0,15 мм/м, точність діаметра H7–H9 та шорсткість опорної поверхні Ra = 0,05–0,15 мкм. Коефіцієнт використання матеріалу збільшився з 0,72 до 0,91, що підтверджує ресурсозберігальний ефект запропонованого процесу.

Висновки. Комбіноване протягування є ефективним способом ресурсозберігального оброблення глибоких циліндричних отворів. Послідовне виконання деформуючого протягування, рельєфоутворення та різального протягування в межах одного робочого ходу дозволяє поєднати формоутворення із цілеспрямованим зміцненням поверхневого шару. Виявлено суттєвий вплив хвилі позаконтактної деформації на фактичну глибину контурних канавок, що необхідно враховувати при визначенні взаємного розташування секцій інструменту. Запропонована технологія забезпечує точність отворів H7–H9,

шорсткість Ra = 0,05–0,15 мкм, підвищення мікротвердості поверхневого шару у 1,3–2,0 рази та збільшення коефіцієнта використання матеріалу з 0,72 до 0,91.

Список використаних джерел

1. Паладійчук Ю. Б., Швець Л. В., Кондратюк Д. Г. Обробка глибоких отворів комбінованою протяжкою. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. № 2 (105). С. 86–92.

2. Посвятенко Е. К., Паладійчук Ю. Б., Посвятенко Н. І., Будяк Р. В. Комбінована деформуючо-різальна протяжка: патент України на корисну модель UA 89326 U; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

3. Paladiychuk Yu. B. Forming of makrorelefiv at reaching of internal surfaces of cylinder purveyance of power hydrocylinders. Modern Engineering and Innovative Technologies. 2019. Issue 10, Part 1. P. 74–79.

4. Паладійчук Ю. Б., Кордонський В. А. Обґрунтування механіки руйнування стружки при протягуванні циліндричних поверхонь з припуском. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 4 (99). С. 73–84.

УДК 631.372:631.171:004.9

СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВОДІННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У ТОЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Пилипака Т.С., Валецька О.В., Ювчик Н.О.

Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується зростанням вимог до точності виконання технологічних операцій, економії пального, насіння, добрив і засобів захисту рослин. Під час традиційного керування машинно-тракторним агрегатом точність руху значною мірою залежить від кваліфікації та втомлюваності механізатора, видимості, конфігурації поля і ширини захвату машини. Відхилення від заданої траєкторії спричиняють перекриття або пропуски між суміжними проходами, що знижує якість робіт і збільшує витрати ресурсів. Одним із базових елементів точного землеробства, який дає змогу усунути ці недоліки, є системи паралельного водіння машинно-тракторних агрегатів на основі глобальних навігаційних супутникових систем.

О.П. Копішинська, М.М. Маренич та Ю.В. Уткін [1] дослідили ефективність упровадження систем точного землеробства в аграрних підприємствах і показали, що застосування паралельного водіння дає змогу зменшити ширину зон перекриття під час виконання польових операцій. В.В. Сацюк, В.Ф. Дідух та М.А. Федонюк [2] дослідили якість приймання GNSS-сигналів навігаційним обладнанням МТА та встановили вплив наземних перешкод на кількість доступних супутників і показники сигналу. У роботі В.В. Сацюка, Р.В. Кірчука та С.М. Хомича [3] експериментально оцінено точність

позиціонування агрегату на схилах із використанням системи ASN-Agro та визначено вплив висоти антени, поперечного нахилу ділянки і швидкості руху.

Мета досліджень. Метою дослідження є аналіз принципу роботи, функціональних можливостей та переваг систем паралельного водіння машинно-тракторних агрегатів, а також визначення чинників, що впливають на точність їх застосування у технологіях точного землеробства.

Результати досліджень. Система паралельного водіння призначена для формування і підтримання заданої траєкторії руху агрегату за координатами, отриманими від GNSS-приймача. Перед початком роботи оператор задає ширину захвату машини та опорну лінію руху, після чого програмне забезпечення формує паралельні робочі проходи. На дисплеї відображаються положення агрегату, напрям руху та величина відхилення від заданої лінії. У найпростішому варіанті механізатор самостійно коригує кермо за показами курсовказівника. Більш досконалі системи використовують електромеханічне підрулювання або автоматичне керування.

Практичне значення паралельного водіння полягає насамперед у скороченні перекриттів і пропусків. Це особливо важливо під час сівби, внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин, де повторне проходження однієї ділянки спричиняє перевитрати матеріалів, а пропуски погіршують якість технологічної операції. Моделювання виробничих процесів підтверджує економічний ефект від зменшення зон перекриття. Крім того, навігація полегшує роботу механізатора за недостатньої видимості та дає можливість точніше використовувати повну конструктивну ширину захвату агрегату.

Точність системи визначається не лише характеристиками приймача. На якість позиціонування впливають доступність і геометрія супутників, якість GNSS-сигналу, наявність лісосмуг та інших перешкод, місце встановлення антени, швидкість руху й рельєф поля. Дослідження підтверджують, що наземні перешкоди можуть змінювати умови приймання супутникових сигналів. Для роботи на схилах додаткового значення набуває поперечний нахил: зміщення антени відносно поверхні поля здатне збільшувати похибку визначення фактичної траєкторії робочих органів.

Вибір системи паралельного водіння необхідно здійснювати з урахуванням потрібної точності технологічної операції. Для операцій, де допускається більша похибка, достатнім може бути курсовказівник, тоді як для високоточної сівби та повторюваних технологічних колій доцільні системи автоматичного керування з коригувальними сигналами. Важливими умовами ефективної роботи є правильне встановлення і калібрування обладнання, точне введення ширини захвату та систематичний контроль якості позиціонування.

Висновок. Системи паралельного водіння є важливим технічним елементом точного землеробства, що забезпечує керований рух машинно-тракторних агрегатів по заданих траєкторіях. Їх застосування зменшує перекриття і пропуски, підвищує якість виконання польових робіт та створює передумови для економії пального й технологічних матеріалів. Ефективність систем залежить від точності GNSS-позиціонування, умов приймання сигналу,

рельєфу поля, параметрів агрегату та правильності налаштування обладнання. Подальше вдосконалення таких систем пов’язане з поширенням високоточного автоматичного керування та інтеграцією навігації з іншими цифровими технологіями землеробства.

Список використаних джерел

1. Копішинська О. П., Маренич М. М., Уткін Ю. В. Ефективність упровадження систем точного землеробства в аграрних підприємствах. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. 2019. Вип. 34. С. 157–163.

2. Сацюк В. В., Дідух В. Ф., Федонюк М. А. Дослідження якісних показників прийому сигналів GNSS навігаційним обладнанням машинно-тракторних агрегатів. Сільськогосподарські машини. 2022. № 48. С. 93–99.

3. Сацюк В. В., Кірчук Р. В., Хомич С. М. Дослідження точності позиціонування машинно-тракторних агрегатів при роботі на схилах. Сільськогосподарські машини. 2023. № 49. С. 111–116.

УДК 621.787

ПОВЕРХНЕВЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ КОРПУСІВ ПЛАСТИНЧАСТО-РОТОРНИХ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ

Пятодверний С.В., Тіхонов О.В.
Державний біотехнологічний університет

Сучасне ремонтне виробництво виробів машинобудування стикається з проблемою втрати працездатності агрегатів унаслідок пошкодження або руйнування поверхневого шару окремих деталей. Поверхневе пластичне деформування (ППД) – поширений і ефективний спосіб підвищення несучої спроможності металевих деталей машин [1-5]. Застосування ППД дає змогу ефективно впливати на підвищення довговічності деталей, які працюють в умовах циклічних навантажень, тертя й впливу корозійних середовищ та мають концентратори напружень, місця посадок із гарантованим натягом. Важливим результатом ППД є виникнення в поверхневому шарі металу залишкових напружень стиску. Причина їх виникнення полягає в тому, що при пластичній деформації поверхневі шари металу збільшуються в об'ємі, однак цьому перешкоджають нижче лежачі шари. У результаті перші опиняються під впливом залишкових напружень стиску, а другі – під впливом залишкових розтягувальних напружень. ППД також змінює мікрорельєф поверхні й поліпшує фізико-механічні властивості поверхневого шару за рахунок підвищення твердості, межі плинності та опору відриву. Ці зміни відбуваються в результаті руху, розмноження та взаємодії дефектів кристалів (дислокації, дефекти упаковки, скупчення точкових дефектів тощо).

Зміцнення внутрішньої поверхні цілої низки деталей, що мають складні поперечні перерізи, є актуальною проблемою. З усіх видів контактних взаємодій твердих тіл при оздоблювально-зміцнювальній обробці найбільший вплив мають пластичне та пружно-пластичне деформування. При цих видах контактів, на відміну від мікрорізання, не відбувається відділення матеріалу з оброблюваної поверхні. Мікронерівності поверхні при контакті пластично деформуються, при цьому відбувається згладжування вершин нерівностей і збільшується діаметр основи нерівності. Матеріал поверхневого шару зазнає стискальних напружень. При цьому збільшується мікротвердість поверхні, а отже, і міцнісні характеристики деталі в цілому. Зміцнення поверхні підвищує запас міцності в 1,5…3 рази [1-5].

Вакуумні насоси пластинчастого типу є одними з найзатребуваніших пристроїв для створення вакууму як у сільському господарстві, так і в промисловості. Це пов'язано з хорошими техніко-економічними показниками їхньої роботи. Однак вони мають і низку недоліків, таких як: зниження подачі внаслідок тривалої безперервної роботи; порівняно малий міжремонтний ресурс (у середньому 800…900 годин напрацювання).

Вакуумний насос широко використовують в машинному відділенні молочно-товарної ферми. Одноразовий час доїння корів в більшості господарств складає 1,5 ... 2,2 год. Вони працюють в складі доїльних установок у широкому діапазоні температур. Згідно технічних вимог температура нагріву насоса під час роботи не повинна перевищувати температуру оточуючого середовища більш, ніж на 65°С [1-5].

Надійність роботи вакуумного насосу в значній мірі визначається ресурсом його корпусу. В процесі експлуатації корпуси піддаються дії різних видів енергії:

- енергії робочих процесів;
- енергії оточуючого середовища;
- енергії накопичень в деталях при виготовленні та ремонті.

Внаслідок цього несучі поверхні корпусів піддаються зношуванню.

Основні дефекти корпусів вакуумних насосів:

Тріщини, що не виходять на робочу поверхню, виникають, в основному, внаслідок внутрішніх напружень, що накопичуються при виготовленні та ремонті корпусу.

Обломи бобишок отворів і кромок площин кріплення кришок виникають внаслідок порушення технічних вимог на транспортування, встановлення, збирання і розбирання насосів

Знос робочої поверхні циліндра корпусу відбувається внаслідок тертя лопаток по поверхні. При спрацюванні посадочних місць ротора під підшипники спостерігається знос внаслідок тертя ротора по робочій поверхні корпусу. Робоча поверхня корпусу піддається корозійно-механічному зносу, який обумовлюється окисленням робочої поверхні циліндра та циклічним руйнуванням окислювальних плівок.

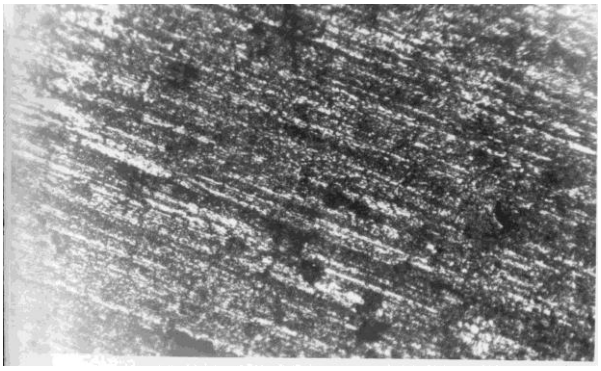


Рис 1. Мікрофотографія незношеної поверхні корпуса вакуумного насоса, ×200



Рис. 2. Мікроструктурний аналіз спрацьованих поверхонь деталей вакуумного насоса, ×200

Пошкодження різьб М10-7Н і G1 $^{1}/_{2}$-В відбувається головним чином через порушення технічних вимог на збирання-розбирання насосів [1-5].

Після дефектації пошкоджені деталі підлягають ремонту. Найчастіше зустрічається такий дефект корпусів вакуумних насосів, як знос внутрішньої циліндричної поверхні. Спосіб відновлення цього дефекту такий: корпус насосу при зносі більше 0,15 мм розточують на алмазно-розточному верстаті 2А78 при допомозі пристосування ПТ-1379-01 під найближчий ремонтний розмір з наступним хонінгуванням на верстаті 3Г833. При розточці корпусу до розміру 149 мм і при надходженні його на черговий ремонт – корпус вибраковується, так як подальше розточування недоцільне. Слід визначити, що ремонт циліндра згідно існуючої технології здійснюється розточуванням під шість ремонтних розмірів, що значно зменшує ресурс корпусу (так як сточується значний шар металу без всякої при цьому потреби). Хонінгування доводить робочу поверхню циліндра до заданої шорсткості, але не зміцнює її. Встановлено, знос робочої поверхні, овальність і конусність більше 0,05 мм ($К_п$=0,95);

Аналіз мікроструктури поверхонь показав, що в процесі зносу перетворення на структурному рівні металу не проходять. Можна спостерігати характерні ознаки мікроструктури чавуну.

Оздоблювально-зміцнювальна обробка ППД внутрішніх поверхонь є перспективним способом отримання якісної та надійної поверхні в сучасному машинобудуванні. Підвищення зносостійкості зі збереженням більшості параметрів якості поверхневого шару, без видалення матеріалу, є ключовими особливостями цього способу обробки.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: підручник. / за ред. проф. О.І. Сідашенко, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

2. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло та інші. За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491с.

3. Сидашенко А. И., Аветисян В. К., Автухов А. К. Исследование зависимости шероховатости микротвердости и глубины наклепа поверхности

цилиндров от скорости растачивания и поверхностного пластического деформирования (ППД) поверхности цилиндров. *Вісник Харків. держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва*. Харків: ХДТУСГ, 2003. Вип. 15: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. С. 180-184.

4. Відновлення деталей комбінованими технологіями на основі пластичного деформування: колективна монографія. / За загальною редакцією Я.Б. Немировського, М.Г. Сторчака, С.Є. Шейкіна, І.В. Шепеленка. Харків: «Діса плюс», 2025. 673 с.

5. Теоретичні основи та технологічні процеси відновлення деталей машин. Навчальний посібник. / М.І. Черновол, І.В. Шепеленко, І.Ф. Василенко, М.В. Красота, О.В. Тіхонов, О.А. Науменко, І.М. Рибалко. Харків: «Діса плюс», 2025. 347 с.

УДК 631.358.4:621.793

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Дерев'янко Д.А., Тарнавський М.І.,
Поліський національний університет

Підвищення ефективності виробництва картоплі значною мірою залежить від надійності та довговічності картоплезбиральної техніки. Робочі органи картоплезбиральних машин функціонують у складних умовах взаємодії з ґрунтом, рослинними рештками, камінням та іншими абразивними включеннями [1]. Інтенсивному зношуванню піддаються підкопувальні лемеші й диски, елементи сепарувальних елеваторів, прутки транспортерів та очисні робочі елементи. Зміна їх геометричних параметрів призводить до скорочення ресурсу деталей, погіршення якості підкопування та сепарації ґрунту, а також збільшення втрат і пошкодження бульб [1-5].

Дослідження конструктивних і режимних параметрів підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин підтверджують, що їх геометрія та технічний стан істотно впливають на якість технологічного процесу [6]. Тому проблему довговічності таких деталей доцільно розглядати комплексно – як забезпечення високої зносостійкості, збереження раціональної геометричної форми та мінімізації пошкодження бульб.

Основним механізмом руйнування поверхонь робочих органів, що контактують із ґрунтом, є абразивне зношування. Його інтенсивність залежить від механічного складу ґрунту, форми й твердості абразивних частинок, вологості, швидкості руху, питомого навантаження та властивостей матеріалу. Дослідження К.В. Борака свідчать, що форма абразивних частинок суттєво впливає на інтенсивність зношування деталей, які безпосередньо взаємодіють із

ґрунтом [2]. Це обумовлює необхідність диференційованого вибору технології зміцнення відповідно до конкретних умов експлуатації.

Одним із найбільш поширених способів підвищення довговічності є зносостійке наплавлення. На найбільш навантажені ділянки робочого органу наносять матеріали з високим вмістом карбідів хрому, вольфраму, титану та інших твердих фаз. Перспективними є Fe–C–Cr сплави, композиційні матеріали на основі карбіду вольфраму та порошкові наплавні матеріали. Важливим є не суцільне зміцнення всієї поверхні, а раціональне розташування зміцнених зон відповідно до фактичної інтенсивності зношування.

Диференційоване зміцнення дозволяє сформувати поверхню зі змінною зносостійкістю. Найбільш навантажені ділянки повинні мати вищу твердість та опір абразивному руйнуванню. Такий підхід створює передумови для збереження форми різальної частини та реалізації ефекту самозагострювання. У дослідженнях К.В. Борака встановлено, що для забезпечення рівностійкості зношування зносостійкість окремих поверхонь необхідно узгоджувати з локальною інтенсивністю їх спрацювання [3]. Цей принцип доцільно застосовувати і для підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин.

Особливий інтерес становить електроерозійне зміцнення поверхонь. Під дією електричних розрядів відбуваються локальні структурно-фазові перетворення поверхневого шару, його легування та підвищення твердості. Перевагою технології є можливість локального зміцнення окремих зон без суттєвої зміни геометричних параметрів деталі. За результатами досліджень Борака К.В. та співавторів електроерозійна обробка сталі 65Г забезпечувала підвищення її зносостійкості в різних ґрунтових умовах у середньому на 60–80 %, а зносостійкість зміцнених дискових робочих органів порівняно із серійними зростала в 1,76 раза [5]. Для зміцнених деталей також спостерігався ефект самозагострювання.

Перспективними є лазерне та плазмове зміцнення. Висока концентрація енергії дозволяє локально модифікувати поверхневий шар без значного нагрівання всього об'єму деталі. Лазерне гартування забезпечує формування дрібнодисперсної мартенситної структури, а лазерне наплавлення дає змогу створювати композиційні шари з карбідами та іншими твердими включеннями. Плазмове наплавлення характеризується високою продуктивністю та можливістю регулювання складу покриття. Сучасні дослідження також розглядають плазмове напилення, HVOF та фізичне осадження покриттів як перспективні технології підвищення стійкості сільськогосподарських робочих органів до абразивного й корозійного руйнування [7, 8].

Високий потенціал мають композиційні зносостійкі покриття, в яких пластична металева матриця поєднується з твердими частинками WC, TiC, Cr_3C_2, SiC. Металева основа забезпечує міцне зчеплення покриття з деталлю та сприйняття ударних навантажень, а тверді частинки протидіють проникненню абразиву в поверхню. Для картоплезбиральних машин це важливо, оскільки їх робочі органи одночасно зазнають абразивного й динамічного навантаження.

До перспективних технологій також належать індукційне наплавлення, борування, азотування, газотермічне напилення та електроіскрове легування. Вибір способу зміцнення необхідно здійснювати з урахуванням матеріалу основи, форми деталі, характеру навантажень, вартості технологічного процесу та можливості його реалізації в умовах ремонтного підприємства. Аналіз сучасних способів зміцнення ґрунтозаглиблених робочих органів свідчить, що універсального покриття для всіх умов експлуатації не існує, а його ефективність залежить від типу ґрунту, складу покриття та режимів роботи машини [8].

Важливе значення має і корозійна складова руйнування. У міжсезонний період на зношених поверхнях можуть активно розвиватися корозійні процеси, які погіршують характеристики поверхневого шару. За результатами досліджень К.В. Борака, В.Л. Куликівського та Д.І. Рудніка атмосферна корозія поверхонь тертя призводить до зменшення мікротвердості й подальшого збільшення інтенсивності абразивного зношування [4]. Тому система підвищення довговічності повинна передбачати не лише зміцнення, але й належну консервацію поверхонь у період зберігання.

Для картоплезбиральної техніки необхідно враховувати стан поверхонь, що безпосередньо контактують із бульбами. Надмірна шорсткість, гострі виступи наплавленого матеріалу або неправильне розташування зміцнених ділянок можуть збільшувати механічне пошкодження продукції. Отже, доцільним є функціонально орієнтоване зміцнення: максимальна зносостійкість повинна забезпечуватися на поверхнях, що взаємодіють із ґрунтовим абразивом, при одночасному збереженні безпечної геометрії зон контакту з бульбами.

Таким чином, підвищення довговічності робочих органів картоплезбиральних машин повинно базуватися на комплексному підході. Найбільш перспективними є диференційоване наплавлення, електроерозійна та електроіскрова обробка, лазерне і плазмове зміцнення, газотермічне напилення та композиційні покриття з твердими карбідними фазами. Подальші дослідження доцільно спрямувати на побудову епюр зношування підкопувальних робочих органів і на цій основі – обґрунтування матеріалу, товщини та схеми розташування зміцненого шару. Реалізація такого підходу дасть змогу збільшити ресурс деталей, зменшити витрати на ремонт і забезпечити стабільність технологічних показників картоплезбиральних машин.

Список використаних джерел

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра техн. наук: 05.05.11. Житомир, 2021. 380 с.

2. Борак К. В. Уплив коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2020. № 1. С. 46–56. DOI: 10.31649/2307-5376-2020-1-46-56.

3. Борак К. В. Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2022. № 1. С. 19–30. DOI: 10.31649/2307-5376-2022-1-19-30.

4. Борак К. В., Куликівський В. Л., Руднік Д. І. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2023. № 2. С. 34–43. DOI: 10.31649/2307-5376-2023-2-34-43.

5. Борак К. В., Куликівський В. Л., Боровський В. М., Руденко В. Г., Добранський С. С. Підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин методом електроерозійної обробки. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2025. № 48. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-3.19.

6. Hrushetsky S. M., Yaropud V. M., Duganets V. I., Pryshliak V. M., Kurylo V. L. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working parts for potato harvesting machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. Vol. 59, No. 3. P. 101–110. DOI: 10.35633/inmateh-59-11.

7. Козаченко О. В., Блезнюк О. В. Дослідження по зміцненню леза дискових копачів коренезбиральної машини КС-6Б. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. 2005. Вип. 21. С. 185–189.

8. Sharifi Malvajerdi A. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9, Issue 6. e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

УДК 621.891

МЕХАНІЗМ ТА ХАРАКТЕР АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ЗУБІВ КОВША ЕКСКАВАТОРА

Борак К.В.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Умінський О.В.
Поліський національний університет

Ефективність роботи одноківшевих екскаваторів значною мірою визначається технічним станом робочого обладнання, зокрема зубів ковша, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтом, піском, гравієм, щебенем та гірськими породами. У процесі розробки матеріалу зуби сприймають значні нормальні й дотичні навантаження, ударні імпульси та багаторазове ковзання абразивних частинок по робочих поверхнях. Унаслідок цього відбувається поступова втрата металу, зміна початкової геометрії зуба, затуплення його різальної частини та збільшення опору копанню. Дослідження умов роботи землерийних машин свідчать, що саме абразивне зношування є одним із домінуючих механізмів руйнування робочих поверхонь зубів ковша.

Абразивне зношування зубів ковша можна розглядати як процес механічного руйнування поверхневих шарів металу твердими частинками розроблюваного середовища. Найбільш небезпечними є мінеральні частинки, твердість яких дорівнює або перевищує твердість матеріалу зуба. Під дією контактного навантаження такі частинки вдавлюються у поверхню деталі та під час відносного переміщення утворюють борозни, спричиняють пластичне відтиснення металу, мікрорізання, утворення напливів і відокремлення частинок матеріалу.

Механізм зношування істотно змінюється протягом циклу копання. На початковому етапі проникнення зуба у ґрунт або гірську породу його носова частина сприймає максимальні контактні й ударні навантаження. Частинки породи вдавлюються у поверхню металу та переміщуються відносно неї. У цьому випадку переважає двотільне абразивне зношування, за якого абразив фактично закріплений у масиві ґрунту або породи, а зуб ковзає відносно нього. На поверхні утворюються подовжені риски та борозни, орієнтовані переважно у напрямку руху ґрунту відносно зуба.

У міру заглиблення ковша частина відокремленого матеріалу переміщується вздовж поверхонь зубів у вигляді вільних частинок. У такому випадку формується тритільна схема абразивного зношування, коли між поверхнею зуба та основною масою ґрунту знаходяться рухомі зерна абразиву. Вони можуть перекочуватися, ковзати, повертатися та повторно вдавлюватися у метал. За таких умов на робочій поверхні утворюється більш хаотичний рельєф, а напрямок слідів зношування стає менш вираженим. Подібне поєднання двотільного і тритільного абразивного зношування характерне для різних етапів робочого циклу землерийних машин.

Важливим механізмом руйнування поверхні є мікрорізання. Воно виникає у випадках, коли гострокутна тверда частинка проникає в поверхневий шар матеріалу зуба та діє аналогічно мікроскопічному різальному інструменту. Попереду частинки формується зона пластичної деформації, а з поверхні відокремлюється мікростружка. Багаторазове повторення такого процесу призводить до поступового зменшення товщини робочої частини зуба.

Поряд із мікрорізанням відбувається мікроборознування. При цьому абразивна частинка не відокремлює метал безпосередньо, а пластично відтискає його в бокові сторони, формуючи канавку та напливи по її краях. За наступних циклів навантаження деформований метал зміцнюється, накопичує пошкодження, розтріскується та відокремлюється від поверхні. Таким чином, навіть пластична деформація без миттєвого відриву матеріалу зрештою сприяє збільшенню загальної інтенсивності зношування.

Для зубів, що працюють у щебеневих, скельних та інших крупноабразивних середовищах, характерне також абразивне зношування за високих контактних напружень. Великі тверді частинки можуть проникати на значну глибину, утворюючи грубі борозни та локальні вм’ятини. У зоні контакту виникають значні пластичні деформації, а поблизу концентраторів напружень можливе зародження мікротріщин. Для зубів гірничих екскаваторів

характерними проявами високонапруженого абразивного зношування вважаються саме мікрорізання та пластичне борознування поверхні.

Характер зношування зуба є нерівномірним. Максимальна інтенсивність спостерігається переважно у носовій частині та на робочих гранях, що безпосередньо контактують із потоком ґрунту. Носова частина першою вступає у взаємодію з розроблюваним середовищем, сприймає ударне навантаження та забезпечує руйнування масиву. У міру експлуатації її радіус заокруглення збільшується, а початково загострений профіль поступово переходить у тупий.

На верхній і нижній поверхнях зуба можуть формуватися різні за інтенсивністю зони зношування, що пояснюється особливостями руху ґрунтової маси, положенням ковша та траєкторією копання. Крім того, центральні та бокові зуби одного ковша можуть зношуватися неоднаково. Результати чисельного моделювання взаємодії ковша із сипкими матеріалами підтверджують існування відмінностей у характері зношування окремих зубів залежно від їхнього розташування.

Інтенсивність абразивного зношування визначається комплексом факторів. До основних належать твердість, розмір, форма й мінералогічний склад абразивних частинок; співвідношення твердості абразиву та матеріалу зуба; контактний тиск; швидкість відносного ковзання; кут взаємодії зуба з ґрунтом; ударний характер навантаження; вологість розроблюваного матеріалу, а також механічні властивості й структура сталі зуба.

Особливо суттєво на довговічність впливають розмір і форма абразивних частинок. Гострокутні зерна мають підвищену здатність проникати в метал та здійснювати його мікрорізання, тоді як округліші частинки частіше спричиняють пластичне деформування та борознування. Збільшення контактного навантаження сприяє глибшому проникненню зерен у поверхню, унаслідок чого ширина й глибина слідів зношування зростають.

Важливе значення має також матеріал зубів та його структурно-механічний стан. Підвищення твердості здебільшого позитивно впливає на опір проникненню абразивних зерен, однак надмірне підвищення твердості за недостатньої ударної в’язкості може сприяти крихкому викришуванню матеріалу під час контакту з великими уламками породи. Тому матеріал зуба повинен забезпечувати раціональне поєднання високої твердості, міцності, пластичності та ударної в’язкості. Дослідження різних матеріалів зубів екскаваторів підтверджують суттєвий вплив складу, структури й термічної обробки металу на його опір абразивному зношуванню.

У процесі експлуатації геометричні зміни зуба поступово починають впливати не тільки на ресурс самого робочого органа, але й на енергетичні показники екскаватора. Унаслідок затуплення збільшується площа контакту з ґрунтом, зростає сила опору проникненню ковша та навантаження на гідравлічну систему і металоконструкцію робочого обладнання. Моделювання зношування ковша показує, що його розвиток може призводити до зростання опору копанню та необхідної гідравлічної потужності, а також до зменшення ефективності наповнення ковша.

Отже, абразивне зношування зубів ковша екскаватора являє собою складний багатофакторний процес, основу якого становлять мікрорізання, мікроборознування, пластичне деформування та поступове відокремлення частинок металу під дією твердих мінеральних зерен. У реальних умовах експлуатації двотільне та тритільне абразивне зношування поєднуються з ударними навантаженнями і локальним втомним руйнуванням. Найбільш інтенсивно зношуються носова частина та робочі грані зуба, внаслідок чого змінюється його геометрія, збільшується опір копанню та знижуються техніко-економічні показники роботи екскаватора.

Список використаних джерел

1. Fernandez J. E., Vijande R., Tucho R., Rodriguez J., Martin A. Materials selection to excavator teeth in mining industry. Wear. 2001. Vol. 250. P. 11–18. DOI: 10.1016/S0043-1648(01)00624-X.

2. Fernandez J. E., Vijande R., Tucho R., Rodriguez J., Martin A. Materials selection to excavator teeth in mining industry. Wear. 2001. Vol. 250, Issues 1–12. P. 11–18.

3. Fernández J. E., Wang R., Vijande R., Rincón A. Wear Behavior of Weld Overlays on Excavator Bucket Teeth. Procedia Materials Science. 2014. Vol. 5. P. 256–266. DOI: 10.1016/j.mspro.2014.07.265.

4. Liu B., Zhou Z., Zou R., Yu A. Numerical investigation of bucket wear and excavation performance with non-spherical materials. Powder Technology. 2024.

5. Review of the Modeling Methods of Bucket Tooth Wear for Construction Machinery. Lubricants. 2023. Vol. 11, No. 6. Article 253.

УДК 621.77.01

АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЗНОШУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВТУЛОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Федін В.О., Підгорний Я. В., Очнєв О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Деталі типу втулок широко застосовуються в рухомих та шарнірних з'єднаннях сільськогосподарської техніки. В залежності від призначення вузла, умов мащення спряження та характеру навантаження їх виготовляють з конструкційних сталей, бронзи та композитних матеріалів.

Умови експлуатації, закономірності зношування деталей машин типу втулок а також технічна можливість їх відновлення завжди були цікаві для досліджень [1,2,3]. Метою таких досліджень є розробка оптимальних технологій відновлення геометричних параметрів та механічних властивостей втулок для підвищення робото здатності вузлів та машин.

Мета дослідження – дослідження умов експлуатації та характеру зношування втулок сільськогосподарської техніки, визначення величини зносу, зміни їх геометричних параметрів і обґрунтування технологічних можливостей їх відновлення методом пластичного деформування.

У процесі експлуатації вузлів робочі поверхні втулок поступово зношуються. Наслідком цього є збільшені зазори та люфти в спряженнях, а також погіршення кінематичних характеристик з'єднань.

Типові випадки застосування втулок у сільськогосподарській техніці, умови їх роботи, матеріали та основні експлуатаційні вимоги наведено в таблиці 1 [1,2].

Таблиця 1 – Типові застосування втулок у сільськогосподарській техніці

З'єднання/вузол	Умови експлуатації	Матеріал або тип втулки	Основні вимоги та особливості
Начіпний пристрій, механізм піднімання, верхня тяга	Коливальні рухи, високі навантаження, ударні навантаження, мащення	Загартована сталь або біметалева втулка	Стійкість до навантажень і ударів; наявність точок змащування
Тяги фронтального навантажувача	Коливальні рухи, високі навантаження, забруднення	Загартована сталь	Стійкість до ударних навантажень і абразивного впливу; загартовані пальці
Шарнірні з'єднання плуга, культиватора та дискової борони	Повільні коливальні рухи, помірні навантаження, вплив ґрунту	Обгорнута втулка з бронзи CuSn8 з мастильними заглибленнями	Невисока вартість, здатність сприймати значні навантаження, утримання мастильного матеріалу
Шарнірні з'єднання без періодичного мащення (рами, колеса регул. глиб.)	Повільні рухи, помірні навантаження, відсутність ТО	Бронза з графітовими вставками	Робота без періодичного мащення; стійкість до забруднення
Шарнірні з'єднання жатки, мотовила, шнека та конвеєр -них механізмів	Коливальні та обер -тальні рухи, помірні навантаження, запилене середовище	Композитний матеріал на основі ПТФЕ	Робота без мащення; стійкість до сільськогосподарського пилу
Шарніри прес-підбирача, обприс кувача та рамних конструкцій	Коливальні рухи, легкі та помірні навантаження	Композитний матеріал на основі POM, змащений	Стійкість до крайових навантажень і дії хімічно активних речовин; невисока вартість
Легконавантажені шарнірні з'єднання, захисні елементи, механізми сидіння	Невеликі навантаження	Твердий полімерний матеріал або бронза	Низька вартість, відсутність корозії, низький рівень шуму
Агрегати гідравлічних приводів техніки	Обертальні рухи, знакозмінні навантаження	Бронза	здатність сприймати значні динамічні навантаження

Втулки механізмів сільськогосподарської техніки у процесі експлуатації сприймають складне навантаження. Для них характерне поєднання циклічних навантажень, коливальних рухів, забруднення мастила абразивними домішками

та різних умов змащування, що безпосередньо визначає характер їх зношування та доцільність відновлення. Деталі проточної частини насоса СВ 80 приведено на рис.1 [2].



Рис. 1 – Деталі проточної частини насоса СВ 80:
1 – фіксатор; 2 – пружина; 3 – направляюча і внутрішній ущільнювач;
4 – графітова втулка; 5 – ущільнююча бронзова втулка

Умови роботи визначають наступні вимоги до конструкції втулки: вона повинна мати мінімальну деформацію і міцність під час роботи, зносостійкість з урахуванням змінного і ударного навантажень.

Втулки виготовляють з бронзи БрАЖ 9-4 [1]. Хімічний склад та основні механічні властивості проведено в табл. 2

Таблиця 2 – Хімічний склад та основні механічні властивості БрАЖ 9-4

Марка	Хімічний склад	Модуль пружності	коефіцієнт Пуассона	Твердість	Допустимі напруження на розтяг і стиснення
БрАЖ 9-4 (ISO–CuAl8Fe3.	8-10 % Al, 2-4 % Fe, 86-90 % Cu.	$E=1{,}15\cdot10^{6}$	$\mu=0{,}32$-0,35	НВ 10^{-1} = 100-120 МПа	600-1200 кГ/см^2

Бронзовий сплав БрАЖ9-4 можна піддавати наступним видам обробки: прокатки, пресування, кування, аргонне зварювання [1].

Було проведено вимірювання зовнішньої та торцевої поверхонь 20 втулок. На рис.2 представлено графік відхилення діаметра втулок від номінального.

За результатами вимірювань встановлено, що зменшення діаметра бронзових втулок насоса СВ 80 від номінального значення D=50 мм становить 0,01-0,03 мм. Тобто, втулки зберігають основну геометричну форму, а величина зносу є незначною. Отримані результати свідчать про незначний ступінь зносу, тому відновлення їхніх геометричних параметрів є доцільним.

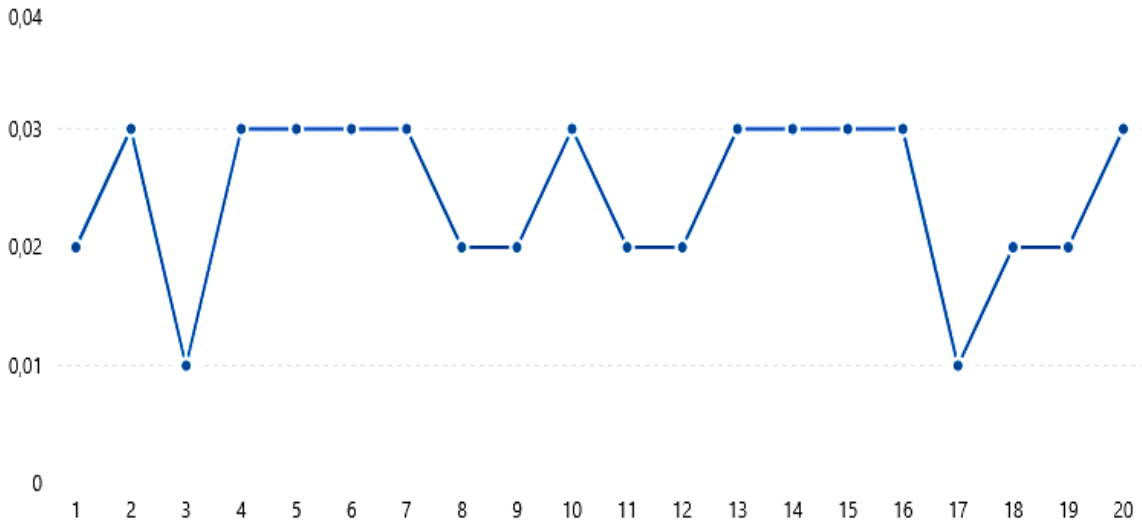


Рис. 2 - Графік відхилення діаметра зношених втулок від номінального

Висновки. Незначна величина зносу (до 0,03мм) означає, що для відновлення номінального діаметра не потрібне значне збільшення розмірів деталі. Під час осадження відбувається пластичне деформування матеріалу втулки та перерозподіл металу, унаслідок чого зменшений діаметр може бути збільшений до необхідного значення. Таким чином, співвідношення між фактичним зносом і допустимою величиною пластичної деформації свідчить про технічну доцільність відновлення втулок методом осадження.

Список використаних джерел

1. Лузан С.О., Сідашенко О.І., Лузан А.С. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей: курс лекцій. Харків: Діса плюс, 2020. 127 с.

2. Насоси для рідин. [Інтернет ресурс] http://www.eurots.com.ua/products/2?isFinalProduct=0&ch=2 (Дата звернення 26.09.2026)

3. Іванкова О. В., Горбенко О. В., Лапенко Г. О., Чумак М. В. Підвищення довговічності шестеренних насосів шляхом відновлення втулок методами пластичного деформування. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2025. Вип. 55. С. 273–286. DOI: 10.32515/2414-3820.2025.55.273-286

УДК 631.372 : 621.431.73

ДИНАМОМЕТРИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ТРАКТОРНИХ ДВИГУІВ. НОВІ МОЖЛИВОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ БАЗИ УКРНДІПВТ ІМ. Л. ПОГОРІЛОГО

Халін С.В., Сербій В.К., Гайдай Т.В.
Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»

Сучасний трактор вже давно перестав бути просто механічним засобом створення тягового зусилля. Сьогодні це складна енергетична система, у якій ефективність роботи визначається взаємодією двигуна, трансмісії, валу відбору потужності, гідравлічної системи, електронних систем керування та робочого агрегату.

Для виробника важливо знати, яку фактичну потужність розвиває двигун і наскільки вона відповідає заявленим характеристикам. Для аграрного підприємства не менш важливо розуміти, скільки палива буде витрачено під час конкретної технологічної операції. Для випробувальної та оцінювальної системи необхідно мати достовірні, відтворювані та обґрунтовані результати.

Динамометричний стенд створює можливість розширити практичний інструментарій оцінювання тракторів – від визначення потужнісно-паливних характеристик до аналізу режимів роботи, близьких до реальних умов експлуатації.

Випробування на динамометричному обладнанні проводять із застосуванням міжнародних методик, зокрема OECD Standard Code 2 та ISO 789-1, а також для виконання робіт у межах української системи технічного регулювання.

Постановка проблеми. Україна від 1997 року взяла курс на зближення з ЄС прийняттям постанови КМУ №244 «Про поетапне впровадження в Україні вимог директив ЄС» [1] та пройшла шлях від контролюючої адміністративної моделі до превентивно-відповідальної моделі, Європейської моделі, коли виробник несе повну відповідальність за відповідність своєї продукції.

Розвиток випробувальної інфраструктури є важливою складовою адаптації української системи технічного регулювання до вимог Європейського Союзу.

Результати випробувань тракторів і тракторних двигунів можуть використовуватися під час оцінювання їх відповідності встановленим технічним та екологічним вимогам, пов'язаного із процедурами допуску сільськогосподарських транспортних засобів на ринок.

В Україні затверджено гармонізований Технічний регламент затвердження типу сільськогосподарських і лісогосподарських транспортних засобів (Постанова КМУ від 12 січня 2024 року № 28) та в повній мірі буде введено в дію після прийняття ще 5 делегованих регламентів. Щодо екологічних вимог в

ЄС діє делегований регламентт 2018/985, який встановлює екологічний стандарт Stage V на порядок суворіший від минулого за викидами оксиду азоту. Норми за яким встановлено у регламенті 2016/1628.

Цей напрям безпосередньо пов'язаний із європейським Регламентом (ЄС) №167/2013, який встановлює рамки схвалення типу та ринкового нагляду за сільськогосподарськими і лісогосподарськими транспортними засобами.

Європейська система при цьому передбачає не один ізольований показник, а комплекс технічних вимог до транспортного засобу, його систем, компонентів та окремих технічних вузлів.

У цій системі результати випробувань є важливою частиною доказової бази. Саме тому наявність в Україні сучасного випробувального обладнання, здатного працювати за міжнародними методиками, має стратегічне значення для виробників і випробувальних організацій.

Таким чином, новий стенд розширює можливості УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого щодо проведення сучасних випробувань і формування доказової бази для оцінювання технічних та експлуатаційних характеристик сільськогосподарської техніки.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз змін в законодавстві України та ЄС щодо порядку введення техніки в обіг і експлуатацію, оцінки її відповідності показав що Україна користувалася старою моделлю спадкової системи сертифікації до 2018 року, створення якої розпочалося з 1993 року і була сформована національна Державна система сертифікації УкрСЕПРО що була скасована в результаті втрати чинності Декрету Кабінету Міністрів України № 46-93 «Про стандартизацію і сертифікацію» від 10.05.1993р..

В той час ЄС з 1952 року з моменту створення союзу вугілля та сталі започаткував створення єдиного внутрішнього європейського ринку для країн-членів [2-4]. Далі ЄС пройшов реформаторський шлях "old approach (старий підхід, 1969 рік)-new approach (новий підхід, 1985 рік)-global approach (глобальний підхід, 1989 рік)-new legislative frameworks (нові законодавчі рамки, 2008 рік)" за 56 років створивши унікальну в світі систему технічного регулювання з наднаціональним рівнем.

Україна вступила в Світову організацію торгівлі (СОТ) у 2008 році, у 2014 році підписала угоду про коаліцію, а 2017 року – про асоціацію між Україною та ЄС, взявши таким чином міжнародні зобов'язання гармонізувати технічні регламенти (ТР), стандарти, закони відповідно до вимог ЄС [5, 6].

ТР затвердження типу тракторів та причепів та змінних причіпних машин прийнятий постановою КМУ №1367 від 28.12.2011 року [7] з редакціями розглядає техніку, як транспортні засоби з підвищеним ризиком, передбачає модуль В затвердження типу + декларацію виробника, діє за старим підходом ЄС.

Метою роботи є забезпечення подолання торговельних бар'єрів та проведення оцінки відповідності сільськогосподарської техніки згідно оновлених нормативно-правових актів законодавства України з питань технічного регулювання.

Результати досліджень. Основне призначення стенда – контрольоване навантаження двигуна та вимірювання його енергетичних, паливно-економічних та екологічних параметрів у заданих режимах роботи.

У процесі випробувань можуть визначатися: крутний момент, ефективна потужність, частота обертання, годинна витрата палива, питома витрата палива, показники відпрацьованих газів під час відповідних екологічних випробувань.

Стенд складається з вихрового динамометру потужністю до 100 кВт та панелі підключення датчиків (рис. 1), паливо-реагенто-вимірюючої апаратури, блоку охолодження теплоносія (градирні), інформаційно-керуючої системи з програмним забезпеченням Taylor та газоаналізуючого обладнання (рис. 2).



Рис. 1 – Загальний вигляд силової частини динамометричного стенду



а) б)

Рис. 2 – Компоненти динамометричного стенду: а). програмне забезпечення Taylor DynPro; б). газоаналізуюче обладнання Testo 350

Перевага стендових випробувань полягає в тому, що можна відтворювати заданий режим навантаження та порівнювати роботу двигуна за однакових умов.

Одним із ключових міжнародних документів у цій сфері є OECD Standard Code 2 for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractors.

OECD зазначає, що стандартні кодекси випробувань тракторів забезпечують проведення випробувань за гармонізованими процедурами та отримання офіційних результатів, що сприяє міжнародній торгівлі. Code 2 охоплює саме характеристики трактора. У межах офіційних звітів OECD, зокрема, наводяться показники потужності двигуна та витрати палива, виміряні

на валу відбору потужності, а також результати визначення тягової та гідравлічної потужності.

Саме тому динамометричний стенд є не просто засобом перевірки того, «скільки кінських сил має трактор». Він дає можливість досліджувати взаємозв'язок між потужністю, крутним моментом, частотою обертання та витратою палива.

Другим важливим орієнтиром є ISO 789-1:2018 «Agricultural tractors – Test procedures – Part 1: Power tests for power take-off».

Цей міжнародний стандарт встановлює процедури визначення потужності, доступної на валу відбору потужності сільськогосподарських тракторів. Для української випробувальної практики особливе значення має національне прийняття цієї методики як ДСТУ ISO 789-1:2019.

Таким чином, результати, отримані на стенді, можуть бути представлені у формі, зрозумілій як українським виробникам і користувачам, так і фахівцям міжнародних випробувальних систем.

Одним із найбільш інформативних результатів стендових випробувань є швидкісна характеристика двигуна: зовнішня та часткова.

Одне з головних практичних питань полягає в тому, наскільки результати лабораторного випробування можна пов'язати з реальною роботою трактора.

Безпосередньої відповідності між певним відсотком навантаження на стенді та конкретною польовою операцією немає. Однак стендові режими дають можливість сформувати основу для такого аналізу.

Стендові випробування дозволяють дослідити, як змінюється питома витрата палива при зміні навантаження та частоти обертання. Це створює можливість обґрунтовано визначати економічно доцільні режими роботи під час оранки, глибокого розпушування, важкого дискування чи посіву, внесення добрив, міжрядного обробітку чи для транспортних операцій, коли характерна робота двигуна при неповному використанні його потужності.

У таких випадках важливим є правильне співвідношення між передачею, швидкістю руху, частотою обертання та навантаженням.

Сучасний трактор оцінюється не тільки за потужністю та економічністю. Не менш важливим показником є вплив його роботи на довкілля.

Під час відповідних екологічних випробувань можуть визначатися показники викидів, зокрема оксиди азоту (NOx), тверді частинки (PM), чадний газ (CO) та вуглеводні (HC).

Особливість сучасних дизельних двигунів полягає в тому, що екологічні показники залежать від режиму роботи двигуна. На них впливають температура процесу згоряння, навантаження, система впорскування палива та робота систем очищення відпрацьованих газів.

Отже, сучасні випробування мають розглядати трактор не тільки як джерело механічної потужності, а як енергетичну систему, ефективність якої має оцінюватися одночасно за продуктивністю, витратою палива та екологічними показниками.

Висновок. Застосування динамометричного стенда створює передумови для нового рівня досліджень тракторної техніки в Україні.

Застосування міжнародних методик OECD та ISO при дослідженнях потужнісно-паливних характеристик і проведення відповідних екологічних випробувань розширюють можливості випробувальної лабораторії у сфері оцінювання сучасних тракторів.

Для України це означає посилення власної випробувальної спроможності, підтримку вітчизняного машинобудування та створення кращих умов для інтеграції результатів українських випробувань у міжнародний технічний простір.

Список використаних джерел

1. «Про заходи поетапного впровадження в Україні вимог директив ЄС» [Електронний ресурс]: Постанова КМУ від 19 березня 1997 р. N 244 – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/244-97-%D0%BF#Text.

2. A new approach to technical harmonisation [Електронний ресурс]//2011 – – URL:http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/technical_ harmonisation/l21001a_en.htm.

3. Lambert J. How to Export Machinery to the European Union [Електронний ресурс] / J. Lambert // f European Profiles S.A.. – 2010. – URL: http:// no-trade-barriers.com/wp-content/uploads/2012/06/Brochure-on-machinery-2014. pdf.

4. What is CE Mark [Електронний ресурс]. – 2014. – URL: http://www.cemarkingnordic.se/pdf/english/what_is_ce_marking.pdf.].

5. Про затвердження плану заходів щодо виконання у 2006 році Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу [Електронний ресурс]: Розпорядження КМУ від 15.03.2006 р. № 151-р – URL: https://ips.ligazakon.net/document/KR060151.

6. «Про внесення змін до деяких законів України щодо здійснення функцій технічного регулювання у сфері агропромислового комплексу та машинобудування для агропромислового комплексу» [Електронний ресурс]: Закон України 31 травня 2022 року № 2296-IX – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2296-20#Text.

7. Про затвердження Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2011 р. № 1367. – – URL: http://zakon4.rada.gov.ua/ – Назва з екрана.

УДК 621.891

ТРИБОТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ПАЛЬЦІВ СТРІЛИ ЕКСКАВАТОРА

Борак К.В.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Сидорчук-Шмідт С.Д.
Поліський національний університет

Надійність та довговічність гідравлічного екскаватора значною мірою визначаються технічним станом шарнірних з'єднань його робочого обладнання. До найбільш навантажених елементів таких з'єднань належать пальці стріли, рукояті, ковша та гідроциліндрів. У процесі експлуатації вони працюють у складних умовах циклічного та ударного навантаження, малих швидкостей відносного переміщення, забруднення абразивними частинками та періодичної подачі мастильного матеріалу. Сукупність зазначених факторів зумовлює інтенсивне зношування робочих поверхонь пальців і втулок та поступове збільшення зазорів у шарнірах.

Трибоспряження «палець–втулка» шарнірів стріли екскаватора характеризується переважно коливальним або зворотно-обертальним відносним рухом за значних контактних навантажень. Для шарнірів будівельних машин характерними є мала швидкість ковзання та високий питомий тиск, причому навантаження часто має динамічний і ударний характер. У дослідженнях зношування передньої вилки стріли малогабаритного екскаватора встановлено, що фактичний рух пальця може бути складнішим за звичайне обертання і являти собою поєднання обертального та коливального рухів. Такий характер переміщення формує нерівномірне поле контактних тисків і, відповідно, локалізоване зношування поверхонь.

Однією з головних триботехнічних особливостей пальців стріли є те, що їх контакт із втулкою відбувається не по всій номінальній площі. Під дією навантаження, пружних деформацій пальця, перекосів з'єднання та похибок виготовлення виникають ділянки підвищеного питомого тиску. Дослідження підшипникових вузлів будівельної техніки показують, що пікові контактні тиски біля країв втулки можуть істотно прискорювати зношування. Тому рівномірність розподілу навантаження вздовж довжини пальця є одним із ключових чинників ресурсу шарнірного з'єднання.

Основним видом пошкодження пальців стріли в умовах роботи екскаватора слід вважати абразивне зношування. Частинки ґрунту, піску, пилу та продукти зношування проникають у зазор між пальцем і втулкою та діють як абразив. Під дією високого контактного тиску тверді частинки вдавлюються у поверхню одного з елементів трибоспряження та утворюють мікроподряпини і борозни. За недостатньої герметизації шарнірів інтенсивність цього процесу значно зростає. Практичні рекомендації виробників важкої будівельної техніки

також відносять забруднення, недостатнє мащення та порушення співвісності до основних причин прискореного зношування пальців і втулок.

Поряд з абразивним зношуванням у контакті «палець–втулка» проявляється адгезійне зношування. Воно виникає передусім за недостатньої товщини мастильної плівки, коли окремі мікронерівності металевих поверхонь вступають у безпосередній контакт. В умовах високих питомих навантажень на вершинах нерівностей можуть утворюватися локальні адгезійні зв'язки, руйнування яких супроводжується перенесенням матеріалу, утворенням задирів і локальним схоплюванням. Ознаками такого процесу є риски, задири, зміна шорсткості та характерне пошкодження робочої поверхні пальця.

Для пальців шарнірів стріли також характерні прояви фретинг-зношування. Незначні зворотно-коливальні переміщення у зоні контакту сприяють багаторазовому руйнуванню поверхневих оксидних плівок. Утворені частинки продуктів зношування залишаються у контактній зоні та надалі можуть відігравати роль вторинного абразиву. Особливо небезпечним є поєднання фретингу з корозійними процесами при експлуатації машин у вологому середовищі.

Інтенсивність зношування пальця можна якісно оцінити з використанням класичної моделі Арчарда, відповідно до якої об'єм зношеного матеріалу залежить від навантаження, шляху тертя, твердості поверхні та коефіцієнта зношування:

$$V = k\cdot(F\cdot L)/H, \qquad (1)$$

де V – об'єм зношеного матеріалу; k – безрозмірний коефіцієнт зношування; F – нормальне навантаження; L – шлях тертя; H – твердість матеріалу.

Зазначений підхід використовується і в сучасних дослідженнях зношування пальцевих з'єднань екскаваторів. Моделювання з використанням моделі Арчарда підтверджує суттєвий вплив розподілу контактних тисків і складного характеру руху пальця на локалізацію зон максимального зношування.

Важливу роль у забезпеченні довговічності пальців відіграють властивості матеріалу та якість поверхневого шару. Пальці важконавантажених шарнірів виготовляють із конструкційних легованих сталей із подальшим поверхневим зміцненням. Висока твердість поверхневого шару підвищує опір абразивному зношуванню, тоді як достатня в'язкість серцевини забезпечує здатність пальця витримувати ударні та змінні навантаження. Виробники сучасної землерийної техніки застосовують поглиблену термічну обробку робочого шару пальців та високоякісну фінішну обробку поверхні саме з метою підвищення стійкості до абразивного зношування і втомного пошкодження.

Окремим чинником є початкова та експлуатаційна шорсткість поверхні. Надмірна шорсткість сприяє збільшенню фактичного контактного навантаження на вершинах мікронерівностей, руйнуванню мастильної плівки та розвитку адгезійного зношування. Водночас надто гладка поверхня за певних умов може погіршувати утримання мастильного матеріалу. Тому параметри шорсткості

повинні розглядатися спільно з конструкцією мастильних канавок втулки і системою подачі мастила.

Одним із найбільш ефективних способів зниження інтенсивності зношування є забезпечення стабільного режиму мащення. Мастильний матеріал зменшує коефіцієнт тертя, розділяє контактуючі поверхні та одночасно сприяє видаленню продуктів зношування із зони контакту. Експериментальні дослідження пар «палець–втулка» підтверджують, що консистентне мастило забезпечує нижчий коефіцієнт тертя та кращий стан поверхонь порівняно з недостатньо ефективними альтернативними мастильними середовищами.

Особливу увагу необхідно приділяти не лише типу мастила, а й періодичності його подачі. За даними сучасного польового дослідження важконавантажених пальцево-втулкових з'єднань будівельної техніки, стан мастила, його в'язкість, матеріал втулки та інтервал між змащуваннями суттєво впливають на трибологічний стан вузла. Під час експлуатації мастило може загущуватися, втрачати здатність виділяти базову оливу та накопичувати частинки забруднення й продукти зношування. У досліджених важких умовах найзбалансованіший результат був отриманий для сталевої втулки, мастила з базовою оливою ISO VG 460, літієвим комплексним загусником і MoS_2 за 12-годинного інтервалу мащення. При цьому автори наголошують, що оптимальний інтервал необхідно визначати з урахуванням конкретних умов роботи машини.

Для екскаваторів, які працюють у запиленому або піщаному середовищі, частота змащування має бути збільшена. Наприклад, Caterpillar рекомендує для пальців і втулок звичайних шарнірних з'єднань щоденне мащення або орієнтовно через 8–10 мотогодин, а у вологих чи запилених умовах – приблизно через 4 години роботи. Подавання свіжого мастила у цьому випадку виконує також функцію витіснення із шарніра забрудненого мастильного матеріалу та абразивних частинок.

Таким чином, зношування пальців стріли екскаватора має комплексний триботехнічний характер. Визначальними механізмами є абразивне й адгезійне зношування, фретинг, а також локальне втомне пошкодження поверхневого шару. Їх інтенсивність залежить від величини і характеру навантаження, розподілу контактних тисків, твердості та шорсткості поверхні, зазору в парі «палець–втулка», співвісності елементів, умов герметизації та ефективності мащення.

Список використаних джерел

1. Wang X., Xia Z., Wang L., Dong X., Xing M. Study on wear characteristics of boom front fork pin hole in the small excavator. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2026. Vol. 240, Issue 8. P. 1589–1603. DOI: 10.1177/13506501261424341.

2. Celik I., Şensoy A. T., Sezer S. B. Evaluation of Lubricant Selection and Lubrication Intervals for Pin–Bushing Bearings Operating Under High-Temperature Conditions in Heavy-Duty Construction Machinery. Lubricants. 2026. Vol. 14, No. 4. Article 179. DOI: 10.3390/lubricants14040179.

3. Friction and wear behavior of pin-bushing with magnetorheological fluids. Industrial Lubrication and Tribology. 2017. Vol. 69, Issue 6. P. 912–918. DOI: 10.1108/ILT-01-2016-0012.

4. Journal bearing housing design–A statistical study with FEM. Tribology International. 2007. Vol. 40, Issue 4. P. 665–671.

5. Caterpillar Inc. Cat® Linkage Pins and Bearings. Технічні матеріали щодо пальців, втулок, мащення та зношування шарнірів землерийної техніки. 2025.

6. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Микосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин. Київ, 2006. 216 с.

УДК 621.793.7

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ

Якимович О.О., Рибалко І.М.
Державний біотехнологічний університет

До найефективніших технологічних процесів для нарощування зношеного шару відповідальних деталей складної конфігурації слід відносити методи, що використовують висококонцентровані джерела енергії, які забезпечують локальне нагрівання поверхневого шару й не викликають дефектів, характерних для традиційних методів наплавлення. До числа тих, що найменше потребують особливо складного обладнання, обслуговування та дороговартісного екологічного захисту, належить метод плазмового наплавлення, який передбачається застосовувати для відновлення колінчастих валів. Крім того, метод плазмового наплавлення дає змогу здійснювати відновлення чавунних колінчастих валів, що не може бути забезпечено жодними традиційними методами [1-2].

Методи плазмового наплавлення дозволяють використовувати покриття з різними зносостійкими сплавами, у тому числі самофлюсувальними на основі нікелю, а також низку композиційних і керамічних матеріалів. За допомогою цього методу можна отримати покриття з високими фізико-механічними властивостями при відносній простоті та доступності процесу. Наприклад, при плазмовому нанесенні самофлюсувальних сплавів на поверхню деталей утворюються покриття, що складаються з окремих частинок, з'єднаних між собою та з основою містками зварювання [1-4].

У цьому випадку міцність зчеплення наплавленого шару з основою не перевищує 20…30 МПа, у зв'язку з чим існує значна небезпека окиснення покриття. Крім того, висока пористість погіршує якість поверхневого шару. За рахунок операції оплавлення міцність зчеплення покриття з основою підвищується до 200…250 МПа, а відносна щільність шару зростає до 98\%.

Процес оплавлення супроводжується низкою фазових перетворень, що відбуваються в сплаві.

Мікротвердість наплавленого шару, наприклад, для сплаву ПН-ХН80С4Р4, коливається в певних межах, а за товщиною наплавленого шару практично не змінюється [3, 4]. Для нього характерні рівномірна зерниста структура та підвищені експлуатаційні показники.

Вивчення характеру розподілу зміцнювальних фаз за глибиною покриттів за допомогою рентгенівського сканувального мікроаналізатора показало, що при плазмовому наплавленні розподіл елементів за глибиною шару є однорідним. Так, середній вміст хрому становить 12%, а кремнію – 6,3%. Вивчення механізму армування структури плазмових покриттів та їхніх властивостей, таких як адгезійна й когезійна міцність та зносостійкість, є необхідним для вироблення основних принципів створення покриттів із заданими характеристиками [3, 4].

Процес формування структури плазмового покриття з використанням крапельної моделі передбачає, що частинки в процесі утворення покриття перебувають в оплавленому або розплавленому стані. У момент утворення покриття частинки деформуються, розтікаються, тверднуть, утворюючи шаруватий матеріал.

Сучасні дослідження дають можливість виділити три типи структур – рівноважну (комірчасту), дендритну та змішану (поєднання першого й другого типів). Така типізація структури плазмового покриття узгоджується з класичним визначенням будови металів та оксидів у теорії кристалізації речовини. Однак для розуміння процесів формування покриттів цього недостатньо. Останнім часом з'явилися роботи, присвячені детальному вивченню мікро- та субмікроструктури плазмових покриттів. Так, наприклад, уперше при плазмовому напиленні кварцу й електрокорунду з оплавленням та випаровуванням перегрітого розплаву показано можливість кристалізації покриттів за ПРК-механізмом (пар – рідина – кристал) і утворення ниткоподібних кристалів.

При плазмовому методі наплавлення всі стадії займають короткий проміжок часу, приблизно рівний 10^{-3} с, оскільки швидкість польоту частинок становить близько 50…300 м/с, а відстань, яку пролітає частинка, – 120…150 мм.

При напиленні порошків природного й штучного рутилу встановлено, що розміри рутилових частинок під час проходження через плазму зменшуються через часткове випаровування розплаву та розтріскування частинок під впливом внутрішніх напружень, що виникають на межі між субблоками при нагріванні. Це можна пояснити тим, що частинки порошку перебувають у плазмовому струмені протягом дуже короткого проміжку часу від 5 10^{-3} до 20 10^{-3} с (при температурі струменя до кількох тисяч градусів Цельсія), а пластична деформація в рутилі починається при температурі близько 600°С. У цьому випадку не забезпечується достатня релаксація напружень, що виникають, і пластичні деформації призводять до утворення тріщин аж до розколу монолітних зерен на окремі субзерна меншого розміру [3, 4].

Проблема плазмового подрібнення зерен рутилу має велике значення, оскільки значною мірою розміри частинок визначають задані властивості плазмових покриттів.

Детальне вивчення зламів плазмових покриттів показало, що є частинки, які розкололися від термічних напружень і закристалізувалися з поверхні. Такий дефект не спостерігається у випадку наплавлення при оптимальному режимі плазмового покриття з використанням порошку заданої фракції. Існують неусувні дефекти плазмових покриттів, зумовлені самою технологією. Це межі між ділянками з переважним напрямком кристалізації, а також пористість.

Таким чином, структура плазмових покриттів у загальному випадку характеризується значною пістрявістю й включає ділянки частинок, які закристалізувалися за ПРК-механізмом і частково сплавилися, іноді роздроблені частинки вихідного порошку. Така структура викликає анізотропію властивостей і великі коливання в рівні властивостей. Необхідно вміти керувати структурою покриття, домагаючись її однорідності [5, 6].

Найважливішою характеристикою процесу наплавлення є можливість досягнення необхідної концентрації легувальних елементів при заданій неоднорідності їх розподілу у шві та мінімальних втратах. При цьому відхилення від необхідної концентрації внаслідок коливань параметрів режиму не повинні перевищувати припустимі.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

2. Лузан С.О. Обгрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей: конспект лекцій. Харків: НТУ «ХПІ», 2023. 118с.

3. Новиков А.В. Исследование технологических параметров плазменной наплавки при коленчатых. *Сб. научных трудов ХТГУСХ: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин*. Харьков, 1997. С. 111-115.

4. Тєрєхов Д.А., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Особливості структури і властивостей деталей, відновлених плазмовим методом. *Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»* 29-30 листопада 2022 р.: Матеріали. Електронне видання. Дніпро, Журфонд, 2022. С. 210-214.

5. Лузан С.О., Ситников П.А. Структура та властивості плазмових покриттів,напилених композиційним матеріалом, одержаним з використанням СВС-процес. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. № 2(85). 2023. С. 41-57.

6. Лапенко Т.Г., Канівець О.В., Лисак А.І. Удосконалення технології відновлення автомобільних колінчастих валів. *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування*: матеріали VII всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 10 груд. 2024 р.). Полтава : ПДАУ, 2024. С. 101–103.

СЕКЦІЯ «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛОГІСТИКА»

УДК 629.113:004

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ В АТП

Антощенков Р. В., Лавренко В. В., Гончаренко О. О.
Державний біотехнологічний університет

Постановка проблеми. У сучасних умовах експлуатації вантажних автомобілів значно зростають вимоги до їхньої надійності, безпеки руху, економічності та екологічності. Саме тому технічна діагностика є одним із найважливіших напрямів технічної експлуатації автомобілів. Вона дозволяє своєчасно виявляти несправності, оцінювати технічний стан агрегатів без їх демонтажу, прогнозувати ресурс роботи деталей та запобігати аварійним відмовам.

Для забезпечення високого рівня технічної готовності автомобілів використовуються спеціалізовані діагностичні прилади, мотор-тестери, сканери електронних систем, газоаналізатори, стенди перевірки гальмівної системи та інше сучасне обладнання та застосуються комп'ютерні діагностичні системи [1].

Автотранспортний парк підприємства є основною виробничою складовою, від технічного стану та раціонального використання якого залежить ефективність роботи всього підприємства. До його складу входять транспортні засоби різного призначення, які забезпечують виконання вантажних або пасажирських перевезень відповідно до потреб замовників.

Ефективне управління парком передбачає своєчасне технічне обслуговування і ремонт автомобілів, контроль їх технічного стану, оптимальне планування маршрутів, раціональне використання пального та інших ресурсів. Це дозволяє підвищити надійність транспортних засобів, зменшити експлуатаційні витрати, скоротити час простоїв і забезпечити безпечну експлуатацію автомобілів.

Отже, сучасний парк автотранспортного підприємства є важливим елементом його виробничої діяльності, що безпосередньо впливає на якість транспортних послуг, економічну ефективність роботи підприємства та його конкурентоспроможність [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними агрегатами, що потребують систематичного контролю, є двигун, коробка передач, карданна передача, ведучі мости, пневматична гальмівна система, рульове керування та електронні системи управління.

Парк АТП є основною виробничою складовою, від технічного стану та раціонального використання якої залежить ефективність роботи всього підприємства. До його складу входять транспортні засоби різного призначення, які забезпечують виконання вантажних або пасажирських перевезень відповідно до потреб замовників. Ефективне управління парком передбачає своєчасне технічне обслуговування і ремонт автомобілів, контроль їх технічного стану, оптимальне планування маршрутів, раціональне використання пального та інших ресурсів. Це дозволяє підвищити надійність транспортних засобів, зменшити експлуатаційні витрати, скоротити час простоїв і забезпечити безпечну експлуатацію автомобілів.

Використання сучасної матеріально-технічної бази значно скорочує час пошуку несправностей, підвищує точність діагностики та сприяє зменшенню експлуатаційних витрат підприємства. Достатнє оснащення підприємства сприяє підвищенню продуктивності праці, скороченню часу виконання ремонтних робіт, покращенню якості технічного обслуговування, зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню рівня безпеки праці. Крім того, сучасна матеріально-технічна база дозволяє своєчасно виявляти та усувати несправності, що позитивно впливає на технічну готовність і надійність транспортних засобів [3-4].

Технічне діагностування автомобілів є складовою системи технічної експлуатації транспортних засобів та являє собою сукупність методів і засобів визначення технічного стану агрегатів, вузлів і систем без їх повного розбирання. Основною метою діагностування є своєчасне виявлення несправностей, оцінка залишкового ресурсу деталей, попередження раптових відмов та забезпечення безпечної експлуатації автомобілів

Під час діагностування проводився аналіз поточних параметрів двигуна за допомогою діагностичного сканера. Порівняння отриманих значень із нормативними дозволяло оцінити технічний стан систем автомобіля та виявити можливі відхилення.

Регулярне діагностування систем є обов'язковою умовою безпечної експлуатації автомобіля, підтримання його високої технічної готовності, запобігання дорожньо-транспортним пригодам і забезпечення ефективної роботи автотранспортного підприємства [5-8].

Мета. Метою роботи є аналіз організації процесів технічного обслуговування, ремонту і діагностування вантажних автомобілів, застосування сучасного діагностичного обладнання для аналізу технічного стану транспортних засобів та збір інформації для подальшого коригування умов безпечної експлуатації автомобіля, підтримання його високої технічної готовності, запобігання дорожньо-транспортним пригодам.

Результати досліджень. Забезпечення автотранспортного підприємства необхідним технологічним обладнанням та устаткуванням є важливою умовою його ефективної роботи, підвищення якості транспортних послуг, безпечної експлуатації автомобілів і конкурентоспроможності підприємства.

На підприємстві доцільно було б використовувати сучасні діагностичні комплекси. Основні можливостями яких є:

- зчитування кодів несправностей;
- перегляд поточних параметрів;
- контроль датчиків;
- перевірка виконавчих механізмів;
- видалення кодів помилок;
- адаптація електронних блоків.

Під час діагностування слід проводити аналіз:

- системи упорскування палива;
- ABS;
- EBS;
- системи стабілізації;
- системи керування двигуном;
- системи AdBlue з системою SCR;
- турбонаддуву.

Таблиця 1 – Орієнтовний перелік діагностичного обладнання та його призначення

Обладнання	**Призначення**
Launch X-431	Комп'ютерна діагностика
Bosch KTS	Діагностика електронних систем
Autel MaxiSys	Комплексна діагностика
Мотор-тестер	Аналіз роботи двигуна
Газоаналізатор	Контроль токсичності відпрацьованих газів
Димомір	Перевірка дизельних двигунів
Компресометр	Вимірювання компресії
Мультиметр	Перевірка електрообладнання
Стенд перевірки гальм	Контроль гальмівної системи

Застосування сучасного діагностичного обладнання оперативно дозволить локалізувати несправності, скоротити час пошуку причин відмов та підвищити якість технічного обслуговування [9-12].

Висновки. Для підвищення ефективності роботи діагностичної дільниці доцільно оновлювати програмне забезпечення діагностичних комплексів, впроваджувати електронні картки технічного стану автомобілів, використовувати автоматизовану систему обліку результатів діагностування, проводити регулярне підвищення кваліфікації персоналу, застосовувати прогнозну діагностику на основі накопичених експлуатаційних даних, скоротити інтервали між контрольними перевірками автомобілів, що працюють у важких умовах експлуатації.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо технічного стану та методи контролювання. – Київ: ДП «УкрНДНЦ».

2. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник. – Київ: Знання, 2017. – 478 с.

3. Технічна експлуатація автомобілів : підручник / за ред. Лудченка О. А. – Київ: Знання, 2019. – 639 с.

4. Бажинов О. В., Смирнов О. П. Автомобілі. Будова, технічне обслуговування та ремонт : підручник. – Харків: Основа, 2018. – 560 с.

5. Bosch. Automotive Handbook. 10th ed. – Robert Bosch GmbH, 2018. – 1160 p.

6. Bosch. Diesel-Engine Management: Systems and Components. – Robert Bosch GmbH, 2019. – 520 p.

7. Bosch. Gasoline Engine Management. – Robert Bosch GmbH, 2018. – 560 p.

8. AE International. Commercial Vehicle Engineering Handbook. – Warrendale, PA: SAE International, 2021.

9. ISO 14229-1:2020. Road vehicles – Unified Diagnostic Services (UDS).

10. ISO 15765-4:2016. Road vehicles – Diagnostics on Controller Area Network (CAN).

11. ISO 14229-1:2020. Road vehicles – Unified Diagnostic Services (UDS).

12. J1939 Standards Collection. Recommended Practice for Serial Control and Communications of Heavy Duty Vehicles. – SAE International.

УДК 629.3

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ. МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ

Берючов В. Ю., Бурлака О. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасний спеціалізований автомобільний транспорт, в тому числі автопоїзди, можливо розглядати як невід'ємну частину системи вантажоперевезень, значущість якої збільшується, за причини зміни логістичних транспортних потоків в Україні під час воєнного стану.

Відповідно, проблема вибору оптимального варіанту спеціалізованого автомобільного транспорту та правил їх використання набуває вагомої актуальності.

Аналіз останніх досліджень. В сучасній науковій літературі вирішенням такої проблеми займались низка відомих як українських, так і закордонних вчених.

Зокрема пропозиції та результати наукового дослідження щодо класифікації, маневреності, стійкості, керованості, тягового балансу та динаміки автопоїздів відображено в працях [1,2,9].

Низка пропозицій щодо динаміки автопоїздів та віднайдення шляхів удосконалення керованості та гальмування містять наукові публікації [5,6].

Оцінка технічного стану транспортних засобів та пошук шляхів удосконалення правил використання вантажних автопоїздів з урахуванням безпеки руху можливо вивчати в роботах [2,3,7].

Результати наукових досліджень розрахунку, як елементів конструкцій вантажних автомобілів [5,7], рам вантажних автомобілів, автопоїздів [5], технологій виготовлення автомобілів [8,9] можливо використовувати для подальшого наукового пошуку удосконалень за даною тематикою.

Мета досліджень – використання методичних там методологічних складових багатокритеріального вибору при прийнятті інженерного рішення щодо доцільності використання тієї чи іншої моделі спеціалізованого автомобільного транспорту.

Результати досліджень. При прийнятті інженерного рішення щодо вибору тієї чи іншої моделі спеціалізованого автомобільного транспорту основними перевагами останнього можливо визначити:

- Порівняльне збільшення продуктивності перевезень певного визначеного виду вантажу;.
- Зниження питомих експлуатаційних та виробничих витрат щодо перевезень;
- Виконання умов щодо забезпечення збереження вантажу;
- Наявність технічного та технологічного додаткового обладнання для механізації та автоматизації навантаження та розвантаження автомобіля;
- Створення умов для підвищеної безпеки перевезень;
- Транспортування вантажів зі специфічними характеристиками;
- Підвищення якості перевезень, як вантажних, так і пасажирських.
- Кращі характеристики спеціалізованого автомобільного транспорту щодо маневреності та прохідності у складних дорожніх умовах;
- Зменшення питомої собівартості перевезень.

До основних недоліків використання спеціалізованого автомобільного транспорту відносять:

- відносно велику вартість виготовлення таких автомобілів у порівнянні з базовими моделями;
- зниження за умови встановлення додаткового технічного та технологічного обладнання вантажопідйомності в порівнянні з базовими моделями;
- підвищення затрат праці на здійснення технічного та технологічного обслуговування спеціалізованих автомобілів;
- необхідність додаткового перенавчання водіїв та обслуговуючого персоналу щодо особливостей використання технічного та технологічного додаткового обладнання спеціалізованого автомобільного транспорту.
- Наявність зворотних порожніх пробігів, наприклад для автоцистерн, хлібовозів, панелевозів.

Тому при прийнятті інженерного рішення щодо доцільності використання тієї чи іншої моделі спеціалізованого автомобільного транспорту, доцільно

використовувати методичні складові багатокритеріального вибору, наприклад метод «за відстанню до цілі» [10].

Раціональне застосування такого методу базується на виборі оціночних критеріїв, що визначають основні технічні, конструктивні, технологічні, економічні, екологічні характеристики об'єкту вибору.

Щодо спеціалізованого автомобільного транспорту, то такими критеріями можуть бути: первісна вартість автомобіля, вартість технічного обслуговування і ремонту, питома витрата палива, показники екологічності, ресурс автомобіля, вантажопід'ємність та ін.

Аналітичний багатокритеріальний метод по відстані до цілі полягає в обґрунтуванні віртуального ідеального варіанту, наприклад, автомобіль за мінімальною ціною та максимальною вантажопід'ємність та економічною ефективністю вантажоперевезень.

Після вибору основних оцінювальних критеріїв виконується оцінка міри наближення порівнюваних критеріїв спеціалізованого автомобільного транспорту до умовного «ідеального» варіанту.

Показники всіх варіантів порівнюються з «ідеальним» і визначається відстань до цілі μ.

Варіант з μmin вважається найкращим. Ідеальний – $\mu = 0$.

Відстань до цілі, за умови покращення критерію в сторону зменшення [10]:

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\left(\frac{U_i}{U_0}\right) - 1\,, \mu \to 0$$

Відстань до цілі, за умови покращення критерію в сторону збільшення[10]:

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\left(\frac{U_0}{U_i}\right) - 1\,, \mu \to 0$$

деn – кількість критеріїв; Uі – значення варіанту і-го критерію; Uo – значення ідеалізованого варіанту (з найкращим значенням критерію i).

Така методика буде використана нами при проведенні подальшого дослідження щодо обґрунтування багатокритеріального вибору сучасного спеціалізованого автомобільного транспорту.

Висновки. Таким чином, проблема вибору оптимального варіанту спеціалізованого автомобільного транспорту та правил їх використання набуває вагомої актуальності. При прийнятті інженерного рішення щодо доцільності використання тієї чи іншої моделі спеціалізованого автомобільного транспорту, доцільно використовувати методичні складові багатокритеріального вибору – наприклад метод «за відстанню до цілі». Раціональне застосування такого методу базується на виборі оціночних критеріїв, що визначають основні технічні, конструктивні, технологічні, економічні, екологічні характеристики об'єкту вибору. Щодо спеціалізованого автомобільного транспорту, то такими критеріями можуть бути: первісна вартість автомобіля, вартість технічного обслуговування і ремонту, питома витрата палива, показники екологічності, ресурс автомобіля, вантажопід'ємність та ін.

Список літературних джерел

1. В. П. Сахно, В. М. Поляков, І. С. Мурований, і С. М. Шарай, «до вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності», *ВМТ*, вип. 10, вип. 2, с. 120–125, Лис 2019.

2. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; Ред. А. М. Редзюка. – К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005, 400 с.

3. В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. В. Грицук, Т. В. Волкова, В. П. Кужель, і Ю. В. Волков, «Загальний підхід до формування моделей оцінювання технічного стану автомобіля в умовах експлуатації», *ВМТ*, вип. 9, вип. 1, с. 27–37, Чер 2019.

4. Сахно В.П. До створення причіпного автобусного поїзда / В.П. Сахно, О.В. Диких // Науковотехнічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Випуск №111,2022.-С.175-184.

5. Сахно В.П До розробки математичної моделі автопоїзда з причепом категорії О1 у поперечній площині // В.П.Сахно, С.М.Шарай, І.С.Мурований, І.В.Човча // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. –Луцький НТУ, 2021. - №2(17). – С.151-161.

6. Зінько, Роман Володимирович. *Наукові основи формування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних і гусеничних машин*. Diss. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2021.

7. БЕЙГУЛ, Олег Олексійович. "Наукові основи забезпечення раціональних параметрів несучих систем технологічних платформ промислового транспорту за критерієм металомісткості."

8. Курніков, С. І. "Розвиток конструкції зарубіжних автомобілів під впливом безпеки руху." *Вісник [Національного транспортного університету]* 24 (1) (2011): 71-74.

9. Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту: конструкція. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 164 с.

10. Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень : навчальний посібник / Ю.П. Нагірний. - Київ : Урожай, 1994. - 216 с.

УДК 621.651.2:621.73

ВІДНОВЛЕННЯ БРОНЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ ТИПУ «НШ»

Бурлака О.А., Капустянська І. В., Лінський С. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. З огляду на конструктивну складність, високу енергонасиченість та інтенсивність експлуатаційних навантажень гідравлічних систем автомобільного транспорту, сільськогосподарської техніки, спеціалізованого гідрофікованого обладнання, актуалізується проблема підвищення вартості їх виробництва, технічного обслуговування та ремонту. Особливо це стосується гідравлічної апаратури, виготовлення й відновлення працездатності якої потребують застосування високоточних технологій, спеціалізованого обладнання та відповідних конструкційних і функціональних матеріалів [1].

Елементи гідроприводів автомобілів та тракторів в процесі експлуатації зазнають значних статичних і динамічних навантажень. При цьому окремі вузли та деталі, зокрема підшипники ковзання, реалізовані у вигляді спряжень типу «вал–втулка», можуть функціонувати за високих лінійних швидкостей відносного переміщення та значних кутових швидкостей обертання. Такі умови експлуатації зумовлюють інтенсифікацію процесів тертя й зношування контактних поверхонь, підвищення температури в зоні фрикційної взаємодії.

У зв’язку з цим особливої актуальності набувають інженерно-технічні завдання, спрямовані на зниження втрат енергії внаслідок тертя ковзання, забезпечення належного режиму мащення, мінімізацію теплового навантаження та збереження фізико-хімічних властивостей робочих рідин за інтенсивних режимів роботи гідроприводів [2].

Аналіз останніх досліджень. Результатів експериментальних досліджень по визначенню покращень ущільненого за допомогою пластичної деформації сплаву бронзи CuSn7Zn4Pb7 наведено в роботі [1]; в такому випадку вивчались наслідки пластичного деформування на міцність; подано результати різних варіацій силових навантажень.

В праці [2] описані дослідження відносно покращення антифрикційних властивостей бронзових поверхонь тертя шляхом додаткового попереднього збагачення вуглецем.

Застосування «внутрішньогранулярного ультрананоосадження» [3], то в такому випадку кінцевою очікуваною метою є підсилена пластифікація та зміцнення за допомогою сплавів Cu на основі полікристалічних структур. Автори [3] стверджують, що використання внутрішньогранулярної дисперсії ультрананочасточок призводить до збільшення пластичності бронзового олов’янистого сплаву.

Результати покращення бронзового сплаву C83600 Tin Bronze з використанням термічної обробки під час деформації робочих поверхонь деталей описано в науковій праці [4].

Фізичні процеси по застосуванню вібрації поверхонь бронзових деталей за умови використання гармонійних вібраційних коливань в підсистемах «оброблювана бронзова поверхня – технологічний інструмент» подано в праці [5].

В статтях [6, 7] викладено тенденції впливу віброударних навантажень на збільшення величини опору втоми металів; пропоновано збільшувати ступінь вібраційного зміцнення шляхом застосування системи відцентрових сил.

Оцінку економічної доцільності та ефективності застосування технологій зміцнення робочих поверхонь металів та сплавів з використанням вібраційної обробки тиском містять статті [7, 8]; автори наводять приклади зменшення витрат матеріальних та трудових ресурсів під час ремонтного виробництва.

Праці [9, 10] містять твердження, що величина вібраційного навантаження при обробці робочих поверхонь тиском може бути збільшена за умови збільшення амплітуди та частоти коливань оброблюваного спеціального технологічного інструменту.

Останні твердження доводять наукову та практичну необхідність виконання розширеного дослідження технологій вібраційного пластичного зміцнення поверхневого робочого шару бронзових деталей гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ».

Мета дослідження. Мета дослідження розглядається як підвищення терміну використання та експлуатаційної надійності зміцнених пластичним вібраційним деформуванням поверхонь тертя бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ

Результати досліджень. Щодо предмету нашого дослідження, то ним стали бронзові втулки підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів типу НШ (рис. 1). Матеріал втулок - бронза CuSn5Zn5Pb5.

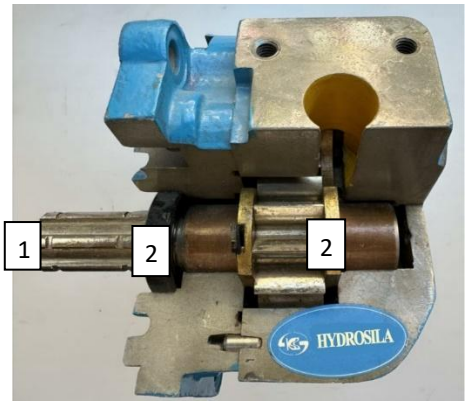


Рис. 1 – Досліджувані зразки бронзових втулок у розрізі гідравлічного шестеренного насоса типу НШ:
1 – привідний вал; 2 – бронзові втулки

Під час використання модельного ряду гідравлічних шестеренних насосів виробництва України, в спряженні підшипників ковзання шестеренних валів домінує абразивний знос. Щодо інтенсивності та неоднорідності такого зносу, останні показники корелюють з якістю і чистотою гідравлічного мастила та ступінню наявності домішок у такому мастилі з абразивною природою.

Порівняння механічних, антифрикційних та міцнісних характеристик бронзових втулок підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів типу ШН, при виготовлені яких застосовано пластичне вібраційне зміцнення, зі звичайними зразками втулок, виконувалося, в тому числі і з використанням металографічного мікроскопу МІМ-8М.

Було порівняно нову бронзову втулку з бронзовою втулкою, робоча поверхня якої зміцнена за допомогою пластичного вібраційного деформування. Відповцідно, металографічні дослідження проведено на шліфах, що виготовлені зі зразків бронзових втулок вищезгаданих гідравлічних насосів.

Отже, зображення зразків мікроструктури спеціально підготовлених і протравлених азотною кислотою елементів - мікрошліфів бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів подано на рис. 2.



а б

Рис. 2 – Мікроструктура зразків поверхні бронзи CuSn5Zn5Pb5 за умови збільшення х100: а – звичайне деформування; б – вібраційне деформування

Висновки. За такими дослідженнями визначено: технологічні процеси щодо оброблення тиском робочої поверхні бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів типу НШ, а саме процеси пластичного вібраційного зміцнення призводить до збільшення ступеня рівномірності основних компонентів мікроструктури бронзового сплаву.

Оброблена за допомогою пластичної вібраційної деформації поверхня бронзових втулок шестеренних насосів типу ШН стає більш дрібнозернистою в порівнянні зі звичайною бронзою, обробленою точінням чи штампуванням.

Список використаних джерел

1. Aleksander Hebda, Tadeusz Łagoda, Joanna Małecka. Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures. Engineering Failure Analysis. 2024. Vol.163, Part B, 108593. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108593.

2. Tarelnyk V., Haponova O., Mościcki T., Tarelnyk N. Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2024. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34.

3. Kaixuan Chen, Jiangxu Shen, Zongxuan Li, Xiangkai Chen, Kaisheng Ming, Yuzhi Zhu, Xiaohua Chen, Tianxin Weng, Zidong Wang. Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit. Scripta Materialia. 2023. Volume 234, 115535. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535

4. Yangbiao Zeng, Lirong Huang, Wen Liu, Chunge Wang, Chaoyang Wang, Xiang Yan, and Chaoyan Lian. The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models. Proc. SPIE 13082, Fourth International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing, and Automation Technology (MEMAT 2023), 130823V (1 April 2024); https://doi.org/10.1117/12.3026109

5. Marquis G. Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines. Weld World. 2013. N. 57(6). P.803–822.

6. M. Djema, K. Hamouda, A. Babichev, D. Saidi, D. Halimi. Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces. Metal, Czech Republic, Brno. 2012. N.5. P.23–25.

7. Z. Stotsko, J. Kusyj, V. Topilnytskyj. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts. Journal of Manufacturing and Industrial Engineering. 2012. Vol. 11. P.15–17.

8. A. Mamalis, A. Grabchenko, A. Mitsyk, V. Fedorovich, J. Kundrak. Mathematical simulation of motion of working medium at finishing–grinding treatment in the oscillating reservoir. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. N.70(1). P.263–276.

9. K. Hamouda, H. Bournine, M. Tamarkin, A. Babichev, D. Saidi, H. Amrou. Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State. Materials Science. 2016. Vol. 52. P.216–221.

10. Gichan, V. Active control of the process and results of treatment. Journal of Vibroengineering. 2011. Vol. 13. P.371–375.

УДК 629.33:658.7

ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПОСТАЧАННЯ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН У СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

Гончаренко О.О., Лавренко В.В., Яценко Ю. В.
Полтавський державний аграрний університет,
Антощенков Р. В.
Державний біотехнологічний університет

У процесі експлуатації автомобільної техніки окремі деталі та складальні одиниці зношуються з різною інтенсивністю та мають неоднаковий ресурс. Одні елементи потребують заміни після 10-15 тис. км пробігу, інші - після 20-25 тис. км або 40-45 тис. км, тоді як окремі деталі можуть бути пошкоджені внаслідок аварійних ситуацій незалежно від їхнього напрацювання. Тому заміна деталей і вузлів здійснюється переважно за фактичним технічним станом та ступенем їх зношення. Така нерівномірність процесів спрацювання значно ускладнює завчасне визначення обсягів потреби в запасних частинах і прогнозування попиту на них, а також формування оптимальних складських запасів для підприємств технічного сервісу, постачальників та інших учасників системи забезпечення [1-2].

На величину попиту на запасні частини впливає сукупність технічних, економічних, експлуатаційних, кліматичних і сезонних факторів. Їхній вплив необхідно враховувати під час прогнозування потреби в запасних частинах та планування матеріально-технічного забезпечення підприємств автомобільного сервісу.

Важливим чинником формування попиту є вікова структура експлуатованого автомобільного парку та величина накопиченого пробігу. Наприклад, для автомобілів із пробігом близько 10 тис. км потреба в заміні генераторів, як правило, є мінімальною, оскільки ресурс таких агрегатів за нормальних умов експлуатації може становити 80 тис. км і більше. Для автомобілів із пробігом близько 30 тис. км імовірність необхідності заміни генератора також залишається відносно низькою. Проте зі збільшенням пробігу та старінням автомобільного парку ймовірність відмови та потреба в заміні окремих агрегатів зростають.

Особливу складність становить прогнозування потреби у випадку, коли автомобілі одного парку досягають однакового сумарного пробігу протягом різних календарних періодів. Наприклад, частина автомобілів може досягти пробігу 100 тис. км протягом одного року, інша - двох років, а решта - трьох і більше років. За таких умов потреба в запасних частинах визначається не лише величиною пробігу, а й тривалістю експлуатації, технічним станом, умовами використання та інтенсивністю навантаження автомобілів.

Збільшення автомобільного парку та, відповідно, зростання потреби в запасних частинах сприяли формуванню значного ринку альтернативної продукції. В умовах недостатнього забезпечення ринку запасними частинами поряд із продукцією автомобільних виробників почали поширюватися деталі та складальні одиниці, виготовлені сторонніми підприємствами за аналогами конструкцій оригінальних виробів.

Такі вироби отримали назву неоригінальних запасних частин. На відміну від них, запасні частини, виготовлені або поставлені за вимогами виробника автомобіля, належать до категорії оригінальних. Розвиток виробництва неоригінальних деталей зумовив формування окремого сегмента ринку запасних частин. Нині така продукція представлена значною кількістю виробників як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках та є одним із конкурентних напрямів щодо постачання оригінальних компонентів.

Оригінальними запасними частинами вважають деталі та складальні одиниці, які постачаються під торговою маркою виробника автомобіля або відповідно до його специфікацій і реалізуються через офіційні канали постачання, зокрема дистриб'юторські та дилерські мережі. Їх виробництво здійснюється відповідно до встановлених виробником технічних вимог і нормативів якості [3].

Виготовлення оригінальних запасних частин може здійснюватися безпосередньо підприємствами виробниками автомобілів, їхніми дочірніми компаніями, а також спеціалізованими підприємствами-постачальниками, які виробляють комплектувальні вироби, вузли та агрегати відповідно до технічних вимог автомобільного виробника. Така система виробництва і постачання забезпечує відповідність запасних частин установленим конструктивним, технологічним та експлуатаційним характеристикам автомобіля (рис 1.).

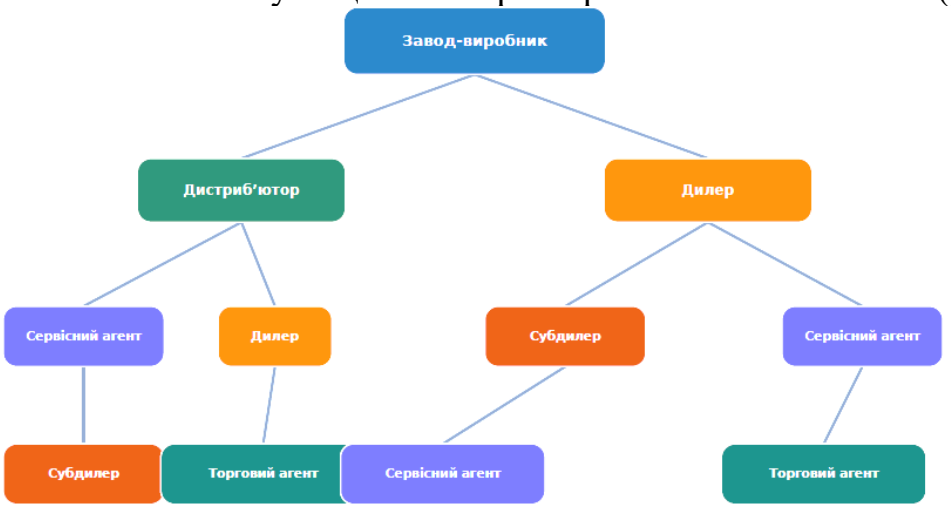


Рис. 1 Структура дилерської мережі забезпечення запасними частинами

Структура дилерської діяльності у системі забезпечення технічного сервісу машин являє собою багаторівневу товаропровідну та сервісну мережу, основною ланкою якої є завод-виробник. Постачання машин, агрегатів,

оригінальних запасних частин та інших комплектувальних виробів може здійснюватися через офіційних дистриб'юторів і дилерів. Дистриб'ютор забезпечує оптове постачання продукції дилерським підприємствам, сервісним агентам та іншим учасникам мережі. Дилер, у свою чергу, здійснює реалізацію техніки та запасних частин кінцевим споживачам, а також може виконувати технічне обслуговування і ремонт машин

На нижчому рівні товаропровідної мережі можуть функціонувати субдилери та торгові агенти, які забезпечують доступність запасних частин і сервісних послуг на локальному рівні. Сервісні агенти спеціалізуються переважно на виконанні операцій технічного обслуговування, діагностування та ремонту машин. Таким чином, дилерська система поєднує постачання машин і запасних частин із комплексом технічного сервісу, забезпечуючи їх доступність для кінцевого споживача протягом усього періоду експлуатації.

У разі співпраці автомобільного заводу із субпостачальником відповідальність за якість продукції, що ним виготовляється, фактично бере на себе виробник автомобілів. Це пояснюється тим, що у випадку виникнення претензій споживачі звертаються безпосередньо до автомобільного виробника, а не до підприємства, яке безпосередньо виготовило відповідні запасні частини. З метою підтвердження гарантії якості автомобільні виробники маркують оригінальні запасні частини власною торговою маркою.

Оригінальні запасні частини всього асортименту постачаються споживачам протягом доби після оформлення замовлення через розгалужену товаропровідну систему. До її складу входять центральні та регіональні склади запасних частин, а також станції технічного обслуговування дилерської мережі.

У дилерській діяльності запасні частини використовуються ремонтними підрозділами. Основними споживачами також виступають незалежні автомайстерні, станції технічного обслуговування та власники автомобілів, які здійснюють ремонт транспортних засобів самостійно.

Водночас існують певні винятки із зазначеної системи. Починаючи з 1990-х років, автомобільні виробники поступово передавали частину обсягів реалізації запасних частин субпостачальникам та підприємствам, які не належали до офіційної системи автосервісу. При цьому виробники автомобілів не мають права відмовляти споживачам у постачанні необхідних деталей і продовжують реалізовувати окремі види запасних частин. Разом із тим вони не перешкоджають іншим підприємствам самостійно виходити на відповідні сегменти ринку.

Передусім це стосується оригінальних і неоригінальних запасних частин, а також уніфікованих і стандартизованих компонентів, зокрема свічок запалювання, фільтрів, підшипників, ременів, сальників, ламп та інших аналогічних виробів. Окрему категорію становлять освітлювальні прилади та комплектуючі до них.

Крім того, компанії-субпостачальники самостійно реалізують такі види запасних частин, як паливні насоси, карбюратори, амортизатори, елементи гальмівної системи та інші компоненти. Така практика поширена в країнах і на

окремих сегментах ринку, де автомобільні виробники не мають офіційних представництв, а відповідні моделі автомобілів потрапляють до споживачів через альтернативні канали постачання без офіційної гарантії та сервісного обслуговування [4].

Неоригінальні запасні частини, своєю чергою, виробляються виключно з метою подальшої реалізації на вторинному ринку автомобільних комплектуючих.

Висновки. Отже, попит на запасні частини формується під впливом комплексу технічних, експлуатаційних, економічних, сезонних та інших факторів, що ускладнює його точне прогнозування. Особливе значення мають вік автомобільного парку, накопичений пробіг, технічний стан транспортних засобів та інтенсивність їх експлуатації.

Ринок запасних частин представлений оригінальною та неоригінальною продукцією, між якими існує конкуренція за споживача. Оригінальні запасні частини постачаються переважно через офіційну дилерсько-дистриб'юторську мережу та характеризуються відповідністю вимогам виробника автомобіля. Водночас розвиток вторинного ринку сприяв поширенню неоригінальних комплектуючих, які забезпечують альтернативні можливості придбання та ремонту автомобілів.

Таким чином, ефективне забезпечення споживачів запасними частинами потребує раціональної організації товаропровідної мережі, прогнозування попиту та підтримання оптимального рівня складських запасів, що безпосередньо впливає на якість і своєчасність технічного обслуговування автомобілів.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

2. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., та ін. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. / За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 - 416с. ISBN 978-617-7634-01-9Том 1. 2018.

3. Науменко О. А., Черновол М. І., Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Шепеленко І. В, Ружило З. В., Новицький А. В., Гончаренко О. О., Сорокін С. П., Мельник В. І., Яковенко Р. В., Захаров А. В., Лисенко С. В., Бантковський В. А. Сервісна інженерія: комплекс робіт і послуг за засобами праці: навчальний посібник. Харків: Видавчиня Тетяна Супрун, 2026. 456 с.

4. С. Ю. Тищенко, А. А. Сергійчук, В. В. Аулін, проф., д-р техн. наук, А. В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. Наук, Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілівЦентральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна.

УДК: 621.791.92:631.372

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТРАНСМІСІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Гончаренко О. О., Лісовол М. С, Малєєв І. В.
Полтавський державний аграрний університет,
Мамедов М. Р.
Державний біотехнологічний університет

Технічний стан трансмісії значною мірою залежить від правильного використання автотракторної техніки. Недотримання правил експлуатації, різкі коливання навантаження, надмірне навантаження на механізми, а також недостатнє чи несвоєчасне змащування сприяють інтенсивному зношуванню деталей і появі несправностей, що можуть призвести до тривалого простою машини.

Пробуксовування зчеплення характеризується неповним передаванням крутного моменту від двигуна до трансмісії. При цьому частота обертання колінчастого вала зростає, однак швидкість руху машини залишається майже незмінною або збільшується недостатньо. Основними чинниками виникнення цієї несправності є неправильне налаштування приводу зчеплення, потрапляння мастила на фрикційні накладки, їх значне зношування, а також ослаблення пружності натискних пружин.

Неповне вимикання зчеплення проявляється труднощами під час перемикання передач, а також появою сторонніх звуків, зокрема шуму чи скреготу в коробці передач. До основних причин належать збільшений вільний хід педалі зчеплення, деформація ведених дисків, пошкодження фрикційних накладок і неправильне регулювання важелів механізму вимикання.

Різке спрацьовування зчеплення супроводжується ривками машини під час початку руху. Така проблема може виникати через заклинювання муфти вимикання на напрямній втулці або деформацію окремих деталей механізму внаслідок перегрівання.

До основних несправностей коробок передач належать зношення та пошкодження зубців шестерень, мимовільне вимикання передач, поява надмірного шуму під час роботи, труднощі з перемиканням, а також можливість одночасного ввімкнення двох передач.

Пошкодження зубчастих коліс найчастіше спричиняється дією ударних навантажень, порушенням правил перемикання передач або неналежною роботою зчеплення. Самовільне вимикання передач може виникати через зношування зубців шестерень, синхронізаторів і фіксувальних елементів механізму перемикання.

Підвищений шум у процесі роботи коробки передач може вказувати на недостатню кількість мастила, зношування підшипників або зубчастих коліс.

Ускладнене перемикання передач зазвичай пов’язане із забрудненням механізму керування, корозійним пошкодженням деталей або значним зношуванням складових частин коробки передач.

Основними елементами трансмісії машин, які в процесі експлуатації зазнають найбільшого зношування, є корпусні деталі, підшипники кочення, зубчасті колеса, вали, корпуси (склянки) підшипників, а також деталі планетарних механізмів. Зубчасті колеса та вали характеризуються виникненням ряду типових дефектів. Для зубчастих коліс найбільш поширеними є зношування зубців за товщиною та довжиною (особливо у передачах із непостійним зачепленням), спрацювання стінок кільцевих канавок у місцях взаємодії з вилками перемикання, зношування внутрішніх шліцьових або гладких посадкових поверхонь, а також утворення тріщин і викришування робочих поверхонь зубців.

Для зубчастих коліс і шліцьових валів характерними дефектами є зношування робочих поверхонь, пошкодження шліців, утворення тріщин і викришування зубців. У зубчастих коліс найчастіше спостерігається зменшення товщини зубців та їх зношування по довжині, особливо при непостійномо зачепленні. Також можливе спрацювання стінок кільцевих канавок у місцях контакту з вилками перемикання передач і зношування внутрішніх шліцьових та гладких посадкових поверхонь. Для шліцьових валів типовими несправностями є зменшення товщини шліців, їх деформація, пошкодження робочих бокових поверхонь, а також зношування посадкових місць під підшипники.

Допустима величина одностороннього зношування зубців за товщиною становить 0,25–0,35 мм, тоді як граничне значення перебуває в межах 0,70–1,00 мм.

Якщо під час експлуатації зубчасті колеса контактували між собою не по всій довжині зубців, на їхніх робочих поверхнях можуть утворюватися уступи. Перед повторним використанням такі дефекти усувають шліфуванням із застосуванням абразивного інструменту. У шліцьових валах незначні пошкодження робочих поверхонь можуть усуватися механічною обробкою, якщо це допускається технічними вимогами до конкретної деталі.

Якщо одностороннє зношування зубців перевищує допустимі межі, симетричні зубчасті колеса за відповідних конструктивних умов можна перевернути або переставити таким чином, щоб у зачепленні працювала менш зношена сторона. У зубчастих коліс із несиметричною маточиною частину маточини видаляють механічною обробкою, а з протилежного боку приварюють компенсаційне кільце необхідної товщини. Під час перевертання зубчастих коліс постійного зачеплення додатково заокруглюють торці зубців з боку їх нового входження в зачеплення. Відновлення шліцьових валів передбачає оцінювання ступеня зношування шліців і посадкових поверхонь із подальшим застосуванням відповідного способу ремонту або заміною деталі, якщо її зношування перевищує встановлені допустимі значення.

Первинний вал коробки передач атотракторної техніки є важливим елементом трансмісії, призначеним для передавання крутного моменту від

двигуна до механізмів коробки передач. Він являє собою складальну одиницю, до складу якої входять вал, зубчасті колеса, підшипникові опори, шліцьові втулки, ущільнення, стопорні кільця, кріпильні елементи та інші деталі. Усі складові частини вузла працюють у взаємодії, забезпечуючи надійне передавання навантаження, точне взаємне розташування деталей і необхідну міцність конструкції. З огляду на особливості роботи первинного вала, його технічний стан значною мірою залежить від зношування шліцьових поверхонь, зубців шестерень і посадкових місць під підшипники. Тому під час технічного обслуговування та ремонту необхідно ретельно перевіряти стан цих елементів, своєчасно виявляти дефекти й визначати можливість подальшої експлуатації або потребу у відновленні чи заміні зношених деталей.

Для відновлення первинних валів коробки передач автотракторної техніки із забезпеченням необхідних показників втомної міцності та зносостійкості запропоновано застосувати технологію електродугового наплавлення під флюсом. Важливим етапом розроблення технологічного процесу є вибір наплавлювального матеріалу, оскільки його хімічний склад значною мірою визначає структуру, механічні властивості та експлуатаційну довговічність відновленої поверхні.

Під час наплавлення без попереднього підігрівання під флюсом АН-348А існує ризик утворення кристалізаційних (гарячих) тріщин у наплавленому металі. Імовірність виникнення таких дефектів зростає за підвищеного вмісту вуглецю, зокрема понад 0,25–0,30 %. Тому для зменшення ризику утворення тріщин необхідно враховувати вміст вуглецю в наплавлювальному дроті та забезпечувати відповідність його хімічного складу умовам відновлення деталі.

В якості компенсуючого матеріалу запропоновано використовувати легований хромомарганцевий дріт марки Нп-39ХГСА. Наявність у його складі хрому та марганцю сприяє підвищенню прогартовуваності наплавленого металу, що дає змогу формувати шар із необхідними механічними характеристиками. Кремній, який входить до складу дроту, виконує функцію розкиснювача, сприяючи зв’язуванню кисню та утворенню оксидних включень, зокрема діоксиду кремнію (SiO_2), що впливає на перебіг металургійних процесів під час наплавлення.

Таким чином, запропонована технологія відновлення первинного вала передбачає нанесення металевого шару електродуговим наплавленням під флюсом АН-348А із застосуванням дроту Нп-39ХГСА. Після наплавлення необхідно передбачити механічну обробку відновленої поверхні до заданих розмірів, а також контроль геометричних параметрів і якості наплавленого шару для виявлення можливих тріщин та інших дефектів. Остаточні режими наплавлення, потребу в попередньому підігріванні й термічній обробці слід визначати з урахуванням матеріалу вала, його початкового стану та вимог до експлуатаційних характеристик відновленої деталі.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

2. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., та ін. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. / За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 - 416с. ISBN 978-617-7634-01-9Том 1. 2018.

3. Науменко О. А., Черновол М. І., Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Шепеленко І. В, Ружило З. В., Новицький А. В., Гончаренко О. О., Сорокін С. П., Мельник В. І., Яковенко Р. В., Захаров А. В., Лисенко С. В., Бантковський В. А. Сервісна інженерія: комплекс робіт і послуг за засобами праці: навчальний посібник. Харків: Видавчиня Тетяна Супрун, 2026. 456 с.

4. Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Romanyuk, S. P., Goncharenko, A. A., Omel'chenko, L. V., Bantkovskii, V. A. (2020). Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. Materials Science, 55(6).

5. Скобло, Т. С., Сідашенко, О. І., Власовец, В. М., Гончаренко, О. О., Марков, О. В. (2014). Вплив модифікування вуглець- та мідьвмісними добавками вторинної сировини при відновленні деталей електродуговим наплавленням. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, (146), 227-231.

УДК 621.924.9

НАУКОВІ ЗДОБУТКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

Горик О.В., Брикун О.М.
Полтавський державний аграрний університет

Дробоструминне очищення широко застосовується в машинобудуванні для очищення й формування заданої шорсткості металевих поверхонь виробів різного призначення. На практиці частина операцій виконується вручну, а режими технології часто приймаються без належного врахування їх взаємозалежності, що ускладнює забезпечення стабільності технологічного процесу, підвищує витрати на обробку й не гарантує очікуваної якості обробки.

Актуальність питання зумовлена науковим обґрунтуванням технологічних параметрів дробоструминного очищення, які забезпечують необхідну якість поверхні, продуктивність процесу та раціональне використання технічного дробу. Процес очищення металевих поверхонь досліджувався багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями [1], проте у цьому багатофакторному процесі залишаються проблеми, які ще потребують подальшого вивчення й

орієнтовані на підвищення стабільності очищення та забезпечення умов механізації та автоматизації процесу.

Метою роботи є аналіз теоретично-практичних результатів дослідження процесу дробоструміння, й вияв можливих подальших науково дослідницьких задач в цій області, направлених на удосконалення технології.

Нами встановлено закономірності руйнування поверхневого шару металу залежно від параметрів дробоструминної обробки; визначено стійкість технічного дробу за різних умов обробки; обґрунтовано вимоги до якості підготовки поверхонь перед нанесенням захисних покриттів; розроблено технічні рішення щодо механізації та автоматизації процесу; сформовано методологію визначення та взаємоузгодження параметрів технології.

В основу досліджень були покладені дві теоретичні моделі динамічної взаємодії дробинок із металевою поверхнею – пружно-пластична та пружно-в'язка. На їх основі отримано основні залежності для визначення параметрів, що характеризують процес дробоструминного очищення [2].

На ПрАТ «АвтоКрАЗ» проведено аналіз стану дробоструминного очищення та двоступінчате анкетування головного технолога і головного металурга. Виявлено недоліки в організації та дотриманні технологічного процесу очищення рамних і дрібних деталей. Зафіксовано випадок відшарування лакофарбового покриття кузова вантажного автомобіля, пов'язаний із неякісною підготовкою поверхні та недотриманням часового інтервалу між технологічними операціями. Розроблено рекомендації щодо визначення та взаємоузгодження параметрів дробоструминного очищення і контролю якості обробленої поверхні [3].

Дробоструминне очищення розглядалося як процес масованого швидкісного впливу дробинок на оброблювану поверхню, унаслідок якого відбувається руйнування та видалення поверхневого шару забруднень. Для кількісної оцінки процесу введено коефіцієнт руйнування, який характеризує частку деформованого металу, що видаляється з поверхні. Експериментальні дослідження показали, що основними чинниками його зміни є швидкість і кут атаки дробинок. Для опису процесу розглянуто дві складові руйнування: втомне руйнування внаслідок удару по нормалі до поверхні та руйнування внаслідок мікрорізання при тангенціальному переміщенні дробинки. Загальний коефіцієнт руйнування визначено як суму відповідних складових [4]. Отримані залежності дають змогу оцінювати продуктивність процесу очищення.

Важливим напрямом механізації процесу є забезпечення раціональної траєкторії руху дробоструминного факела по оброблюваній поверхні. Для ТОВ «Полтаввагон» розроблено спосіб [5], за якого дробоструминне сопло переміщується по еквідистанті до твірної кривої внутрішньої поверхні виробу з постійним кроком і заданими зупинками. Така схема забезпечила послідовне очищення кільцевих ділянок поверхні та використана для механізації обробки внутрішніх поверхонь великогабаритних виробів.

Окремим напрямом досліджень було визначення економічного періоду стійкості технічного дробу [6]. Під час спостережень у термічному цеху

Полтавського автоагрегатного заводу встановлено, що недостатня ефективність очищення призводила до повторного направлення деталей на обробку та, відповідно, збільшення їх собівартості. Запропоновано визначати період ефективної роботи дробу до встановленого ступеня зношування та здійснювати періодичне поповнення системи живлення свіжим дробом. Це дало змогу підтримувати необхідну якість очищення.

Якість підготовки металевої поверхні безпосередньо впливає на надійність і довговічність захисного покриття. Тому поряд із традиційними показниками запропоновано враховувати *часовий інтервал* між дробоструминним очищенням та нанесенням ґрунтового шару, *рівномірність шорсткості та ступінь шаржування* поверхні частинками дробу. Встановлено 8-годинний інтервал між очищенням і нанесенням ґрунтового шару як критичний щодо придатності поверхні до нанесення захисного покриття.

Для оцінювання рівномірності шорсткості запропоновано враховувати співвідношення між кроком нерівностей та висотою мікронерівностей. Отримані залежності дають змогу визначати кут атаки дробинок за заданої початкової швидкості для забезпечення необхідної якості очищеної поверхні.

Наступним важливим показником є шаржування поверхні осколками технічного дробу. Для кількісної оцінки запропоновано використовувати масову та кількісну міри шаржування, що дає змогу оцінювати можливість утворення осередків корозії. Запропоновані критерії можуть бути використані в нормативних вимогах до контролю якості дробоструминно очищених поверхонь [7].

Одним із напрямів практичної реалізації результатів досліджень стала розробка робототехнічного комплексу дробоструминної обробки. Для його створення було подано заявку на участь у конкурсі науково-технічних розробок за державним замовленням. Підтримку розробці надали підприємства ПрАТ«АвтоКрАЗ» і ТОВ «Полтаввагон».

Мобільний роботизований модуль призначений для дистанційної обробки металевих поверхонь великогабаритних виробів вільних об’ємно-просторових форм із забезпеченням заданої продуктивності та якості обробки й мінімізацією енергетичних та економічних витрат. Запропонований підхід може бути застосований під час очищення корпусів великогабаритних машин і апаратів, резервуарів, корпусів транспортних та ін. конструкцій.

Проведені дослідження дали змогу встановити вплив основних параметрів дробоструминного очищення на характер руйнування поверхневого шару, продуктивність процесу та стійкість технічного дробу. Запропоновано підходи до визначення раціональних технологічних режимів, контролю якості очищеної поверхні та підтримання стабільності процесу за рахунок регламентованого поповнення дробу. Розроблені технічні рішення створюють основу для подальшої механізації та автоматизації дробоструминного очищення, зокрема із застосуванням роботизованих засобів.

Разом з тим, низка задач дробоструминного очищення потребує подальшого вирішення: удосконалення моделей енергетичної взаємодії під час

масованої атаки дробу; встановлення впливу технологічних параметрів на рівномірність якості очищеної поверхні; прогнозування зміни ефективності процесу з урахуванням зношування технічного дробу; створення адаптивних систем автоматизованого керування процесом для виробів складної просторової форми.

Список використаних джерел

Momber A. Blast Cleaning Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. 540p.

Горик О.В., Черняк Р.Є., Чернявський А.М., Брикун О.М. Дробоструминне очищення. Теорія і практика. Полтава : Видавництво ПП «Астрая», 2021. 326 с.

Горик О. В., Брикун О. М., Іванов О. М., Ковальчук С. Б., Муравльов В. В. Автоматизована система дробоструминної обробки вільних поверхонь металевих виробів. Scientific Progress & Innovations. 2023. № 26 (2). С. 122–128.

Goryk O., Koval'chuk S., Brykun O., Kamyshov S. Destruction Aspects of the Surface Layer of Metal Surfaces during Shot Blasting. Materials Science Forum. 2025. Vol. 1168. P. 3–11.

Спосіб очищення порожнин корпусних циліндричних виробів потоком абразиву : пат. 124675 Україна : МПК B24C 1/00. № a 2019 02449 ; заявл. 13.03.2019 ; опубл. 27.10.2021, Бюл. №43.

Goryk O., Koval’chuk S., Brykun O., Lapenko T. The stability period of attacking shots in the process of shot blasting of metal surfaces. AIP Conference Proceedings. 2023, 2840(1), 030002.

Goryk O., Koval’chuk, S., Brykun O., Aksonov S. Assessment of Quality Criteria of Shot Blasting Cleaning of the Inner Surfaces of Chemically Resistant Containers. CAMPE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2023. P. 98–107.

УДК 656.13:631.1:004.9

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Горюнов Б.О., Ткаченко В.В.
Полтавський державний аграрний університет

Транспортно-логістичні процеси є важливою складовою аграрного виробництва. Особливого значення вони набувають під час сезонних польових робіт, коли необхідно своєчасно забезпечувати перевезення насіння, добрив, засобів захисту рослин, зерна та іншої продукції. Неефективна організація транспорту може спричиняти простої технологічних машин, збільшення непродуктивного пробігу автомобілів та витрат пального. Традиційне планування не завжди дозволяє оперативно враховувати зміну виробничої

ситуації. Тому перспективним напрямом є цифровізація логістики на основі GNSS-моніторингу, телематики та автоматизованої диспетчеризації.

Сучасне управління транспортними потоками базується на математичних методах оптимізації та інформаційних технологіях. Одним із базових напрямів є задача маршрутизації транспортних засобів – Vehicle Routing Problem [1]. Для аграрного виробництва важливим є управління не лише автомобільним транспортом, а й комплексним парком мобільних машин [2]. Подальший розвиток передбачає використання динамічної маршрутизації, коли рішення коригуються відповідно до поточної ситуації [3].

Базовим елементом цифрового управління транспортом є GNSS-моніторинг. Телематичний термінал визначає координати автомобіля, швидкість і напрямок його руху та передає інформацію до диспетчерської системи. Це дозволяє контролювати місцеположення транспортних засобів і фактичне виконання маршрутів. Сучасні телематичні системи можуть отримувати додаткову інформацію від бортової електроніки автомобіля. До неї належать мотогодини, параметри роботи двигуна, витрата пального та діагностичні показники. У результаті одна інформаційна система може використовуватися одночасно для логістичного управління та контролю експлуатації транспортного парку.

Наступним рівнем є автоматизоване планування маршрутів. Під час формування завдання можуть враховуватися відстань, вантажопідйомність автомобіля, характеристики дорожньої мережі, розташування пунктів завантаження та розвантаження, часові обмеження та інші фактори.

Особливістю аграрного виробництва є тісний взаємозв'язок транспорту з польовими машинами. Найбільш показовим прикладом є збирання зернових культур. Недостатня кількість транспортних засобів або несвоєчасна їх подача може спричинити простої комбайнів, тоді як надлишкова кількість автомобілів призводить до неефективного використання транспортного парку. Традиційний фіксований графік не завжди враховує зміну врожайності, продуктивності комбайнів, відстані до місця розвантаження та дорожньої ситуації. Тому перспективним є динамічне диспетчерське управління. Дані про місцеположення комбайнів і автомобілів можуть використовуватися для оперативного визначення транспортного засобу, який доцільно направити до певної збиральної машини.

Цифровізація також створює можливості для автоматизованого обліку вантажів. Дані про рейс можуть пов'язуватися з результатами зважування, полем походження продукції, конкретною машиною та пунктом призначення. Це підвищує прозорість руху продукції від поля до місця зберігання або переробки.

Перспективним напрямом є інтеграція транспортних платформ із системами управління аграрним підприємством. Інформація про роботу техніки, збирання врожаю, транспортні операції та складські запаси може використовуватися в єдиному інформаційному середовищі.

Подальший розвиток пов'язаний із прогнозною аналітикою. Накопичені дані можуть застосовуватися для прогнозування потреби у транспорті,

визначення потенційних затримок та планування технічного обслуговування машин. Водночас ефективність цифрової логістики залежить від якості вихідних даних, надійності зв'язку та підготовки персоналу. Тому доцільним є поетапний розвиток – від GNSS-моніторингу до комплексної автоматизованої диспетчеризації.

Цифрові технології дозволяють підвищувати ефективність транспортно-логістичних процесів аграрних підприємств. Основними напрямами є GNSS-моніторинг, телематика, автоматизована маршрутизація, електронний облік та динамічна диспетчеризація. Особливо перспективним є управління транспортом під час збирання врожаю. Подальший розвиток пов'язаний з інтеграцією транспортних процесів у єдині цифрові системи підприємства та застосуванням прогнозної аналітики.

Список використаних джерел

1. Toth P., Vigo D. (eds.). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. 2nd ed. Philadelphia: SIAM, 2014.

2. Sørensen C. G., Bochtis D. D. Conceptual model of fleet management in agriculture. *Biosystems Engineering*. 2010. Vol. 105. P. 41–50.

3. Pillac V., Gendreau M., Guéret C., Medaglia A. L. A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*. 2013. Vol. 225. P. 1–11.

4. Bochtis D. D., Sørensen C. G., Busato P. Advances in agricultural machinery management: A review. *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 126. P. 69–81.

УДК 621.432.3

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДВИГУНА DAF XF 430

Гученко С. О., Максименко О. О., Палій О. О.
Полтавський державний аграрний університет

Експлуатація автотракторної техніки за умов підвищених навантажень, абразивного впливу, зволоження та температурних коливань зумовлює інтенсивне зношування деталей. Застосування ефективних технологій відновлення забезпечує подовження терміну їхньої служби, підвищення надійності машин і зменшення витрат на ремонт.

Вантажні автомобілі DAF XF 430 використовуються в аграрному секторі та будівництві для перевезення вантажів в умовах інтенсивної експлуатації. Вони оснащуються шестициліндровими дизельними двигунами PACCAR серій GR і PR із турбонаддувом, які відповідають екологічним нормам від Євро-3 до Євро-5 [2].

Колінчастий вал забезпечує перетворення зворотно-поступального руху поршнів на обертальний і передавання крутного моменту. До його основних експлуатаційних вимог належать висока міцність, жорсткість і зносостійкість за мінімальної маси. Конструкція вала містить корінні та шатунні шийки, щоки, передній кінець і задній хвостовик.

У процесі роботи під дією газових сил, сил інерції та крутильних коливань зношуються шийки й підшипники, а в зонах концентрації напружень можуть виникати втомні тріщини. Нерівномірне зношування корінних і шатунних шийок призводить до їх овальності та конусності. Серед інших характерних дефектів - корозія, задири, риски, пошкодження різьби, тріщини, прогин вала до 0,150 мм і зношування отвору під підшипник первинного вала коробки передач [1, 3].

Матеріал колінчастого вала характеризується високою втомною міцністю при згині й крученні, циклічною в'язкістю, зниженою чутливістю до концентрації напружень і високою зносостійкістю. Вал виготовлено зі сталі SAE 1045 (G13450) за американськими стандартами [2], яку за хімічним складом і механічними властивостями можна порівнювати зі сталлю 45 за ДСТУ 7809:2015.



Рис. 1 – Знос шатунної та корінної шийок валу

Необхідність відновлення колінчастого вала та заміни підшипників визначають за ступенем овальності шийок і величиною підшипникових зазорів відповідно до нормативних вимог двигуна.

Під час дефектації контролюють стан корінних і шатунних шийок, посадкових поверхонь під шків і фланець, отворів під штифти та шпонкових пазів. Також перевіряють наявність тріщин, задирів, зношування, визначають прогин вала й торцеве биття фланця.

Вибір технології відновлення залежить від характеру та величини дефектів, умов експлуатації, матеріалу, конструкції деталі й особливостей її термічної обробки [3]. Ефективність способу оцінюють за ступенем відновлення експлуатаційних властивостей, витратами на ремонт і очікуваною довговічністю деталі [4].

Основні способи відновлення зношених деталей наведено на рисунку 2.

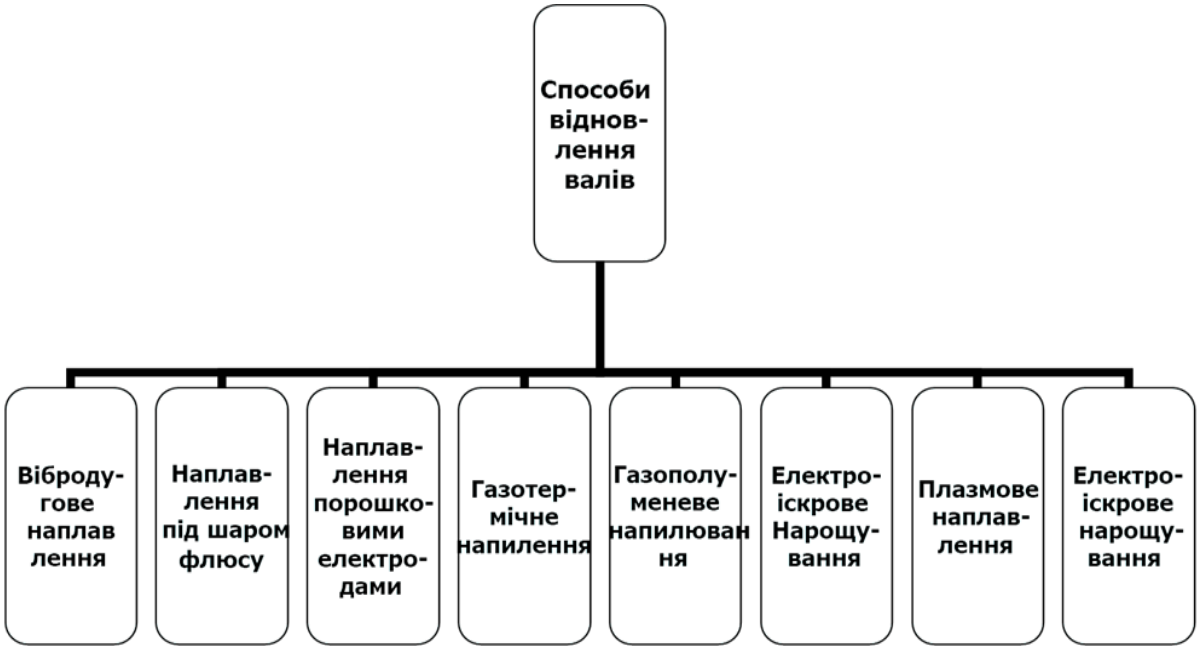


Рис. 2 – Основні способи відновлення зношених деталей

За результатами порівняння способів відновлення валів обґрунтовано доцільність застосування плазмового наплавлення, яке забезпечує високу якість і продуктивність відновлення.

На підприємствах ТОВ «Солоницьке» та ТОВ «Астарта Прихоролля» Лубенського району Полтавської області досліджено дефекти та зношування деталей двигунів автомобілів DAF XF 430. Результати вимірювань наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика дефектів і величин зносу колінчастого вала двигуна DAF XF 430

Дефект	Номінальний розмір	Дійсний розмір	Ремонтний розмір
Знос шийки валу під привідній шків.	$67{,}75^{-0{,}077}_{-0{,}090}$	67,61	$67{,}50^{-0{,}077}_{-0{,}090}$
Знос корінних шийок	$74{,}75^{-0{,}082}_{-0{,}095}$	74,62	$74{,}50^{-0{,}082}_{-0{,}095}$
Знос шпонкового пазу під шестерні та привідний шків	$16_{-0{,}052}$	16,11	$16^{+0{,}149}_{+0{,}065}$

За незначного зношування шийок колінчастого вала та наявності ремонтних вкладишів відповідного розміру доцільно виконувати шліфування на круглошліфувальному верстаті моделі 3В423 або його аналогу з подальшим поліруванням. За значного зношування рекомендовано плазмове наплавлення з подальшою механічною обробкою для забезпечення необхідної якості та точності відновлених поверхонь.

Висновки.

1. Визначено основні дефекти та характер зношування колінчастого вала двигуна DAF XF 430.

2. Обґрунтовано вибір технологій відновлення: шліфування й полірування за незначного зношування та плазмове наплавлення з подальшою механічною обробкою за значного.

3. Запропоновані способи дають змогу знизити витрати на ремонт і подовжити ресурс двигуна.

Список використаних джерел

1. Лузан С.О., Сідашенко О.І., Лузан А.С. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей: курс лекцій. Харків: Діса плюс, 2020. 127 с.

2. Огляд тягача DAF XF 430 https://zapchasti-chagatay.com.ua/obzor-sedelnogo-tyagacha-daf-xf-95.html?srsltid=AfmBOopaHoL5i7r-xi5eyN1OwsTXyQ8WfTvxMGj8aoJSslYCbLoYZ_pH дата звернення 20.03.2025р.

3. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. /О.В. Іванкова, О.В. Гаращук, В.І. Куценко, В.В. Щербина, Д.В. Чижевський, Я.В. Бабич, М.О. Тіхонов. Вісник ПДАА. 2020. № 4. С. 283–292.

4. Іванкова О. В., Бурлака О. А., Бартош В.Ю. Матеріали і технології відновлення зношених поверхонь автомобільних деталей. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки», №10 (41)_1, 2024р., 236-249, DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.236-249

УДК 621.791.92:621.825.5

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ГІДРОЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНО-ТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ

Дорошенко С.В., Курелех М.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Забезпечення тривалої та надійної роботи гідравлічних систем автомобільно-тракторної техніки значною мірою залежить від експлуатаційних характеристик гільз гідроциліндрів, робочі поверхні яких зазнають інтенсивного зношування під впливом контактних навантажень і тертя. Зниження точності геометричних параметрів, погіршення стану поверхневого шару та втрата функціональних властивостей цих деталей призводять до скорочення ресурсу гідроциліндрів і збільшення витрат на їх технічне обслуговування та ремонт.

За наявними даними, фактичний ресурс гідроциліндрів, що перебувають в експлуатації або пройшли ремонт, приблизно на 30 % нижчий за нормативні значення, передбачені ДСТУ 3315-96 і ДСТУ 3317-96. Однією з причин такої невідповідності є недостатня ефективність традиційних технологій відновлення робочих поверхонь гільз. Під час капітального ремонту значну частину деталей вибраковують через зношування поверхні, величина втрати матеріалу якої може становити менш як 1 % початкової маси гільзи. Це свідчить про невідповідність між фактичним залишковим ресурсом матеріалу та можливостями наявних ремонтних технологій щодо його повторного використання.

Особливої актуальності набуває розроблення технологічних рішень, які забезпечують не лише відновлення геометричних характеристик деталей, а й підвищення зносостійкості їхніх робочих поверхонь. Перспективним напрямом є застосування у якості фінішної обробки - шліфування, що передбачає механічний вплив на поверхневий шар металу. Реалізація такого підходу може сприяти підвищенню довговічності гільз, розширенню можливостей їх ремонту та скороченню потреби у виготовленні нових деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження в галузі ремонтного виробництва спрямовані на вдосконалення технологій відновлення деталей машин шляхом поліпшення фізико-механічних характеристик поверхневого шару. Основним завданням таких технологій є не тільки компенсація зношеного матеріалу та відновлення початкових розмірів, а й зменшення інтенсивності подальшого руйнування деталей у процесі експлуатації [1,2].

Серед методів поверхневого зміцнення дослідники розглядають механічну, термічну, хіміко-термічну та комбіновану обробку. Вибір конкретного способу визначається матеріалом деталі, характером навантаження, умовами тертя, необхідною глибиною зміцненого шару та економічними показниками технологічного процесу. Особливе значення мають методи, які дають змогу підвищити зносостійкість поверхні без істотного погіршення властивостей основного матеріалу.

За результатами наведених у вихідних матеріалах досліджень, поверхневе шліфування розглядається як один зі способів поліпшення стану робочих поверхонь за умов граничного тертя [3]. Його застосування сприяє усуненню поверхневих нерівностей і мікродефектів, формуванню необхідної якості поверхні та поліпшенню її експлуатаційних характеристик. Згідно з наведеними експериментальними даними, інтенсивність зношування після такої обробки зменшувалася в 1,5-2 рази, мікротвердість поверхневого шару зростала на 1 8-27 %, а товщина зміцненої зони становила 0,05–0,5 мм.

Водночас ефективність окремих методів обробки залежить від технологічних параметрів і властивостей матеріалу. Тому перспективним напрямом подальших досліджень є використання комбінованих технологій, які дають змогу цілеспрямовано змінювати структуру та властивості поверхневого шару гільз гідроциліндрів. Зокрема, шліфування може забезпечити комплексний вплив на матеріал завдяки механічному деформуванню.

Однак для обґрунтованого впровадження такого процесу необхідно встановити залежність експлуатаційних характеристик шліфованих гільз від інтенсивності механічного впливу, тривалості обробки та властивостей сталі. Недостатня систематизація даних щодо впливу цих чинників на ремонтопридатність і зносостійкість гільз зумовлює необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень.

Удосконалення технологій відновлення деталей також відповідає загальним завданням модернізації аграрного виробництва, зокрема підвищенню ефективності використання технічних ресурсів, упровадженню інновацій та поширенню технологічних знань [4].

Мета. Метою дослідження є обґрунтування доцільності застосування шліфування робочих поверхонь сталевих гільз гідроциліндрів автомобільно-тракторної техніки для підвищення їхньої зносостійкості, збільшення експлуатаційного ресурсу та розширення можливостей відновлення під час ремонту.

Результати досліджень. Аналіз проблем ремонту гідроциліндрів засвідчує, що традиційні технології відновлення не завжди забезпечують необхідний рівень довговічності деталей після повторного введення в експлуатацію. Вибраковування гільз за відносно незначної втрати матеріалу вказує на необхідність удосконалення технологічних процесів, спрямованих на підвищення експлуатаційних властивостей робочого шару.

Одним із можливих напрямів розв'язання цієї проблеми є технологія шліфування, за якої застосовується механічне деформуванням поверхні. Така обробка створює передумови для зміни структури поверхневого шару, підвищення його твердості та опору абразивній деформації. Очікуваний результат полягає у зменшенні інтенсивності зношування за контактної взаємодії та збільшенні тривалості роботи деталі до досягнення граничного стану.

Важливим етапом розроблення технології є визначення раціональних параметрів обробки з урахуванням марки сталі, початкового стану матеріалу, величини зношування та вимог до геометричної точності гільзи. Надмірна інтенсивність механічного впливу може спричинити небажані структурні зміни, залишкові напруження чи деформацію деталі. Тому технологічний процес необхідно розробляти з урахуванням балансу між ступенем зміцнення поверхні та збереженням необхідних властивостей основного металу.

Результати аналізу наявних відомостей щодо поверхневого шліфування демонструють потенціал технологій поверхневої обробки для поліпшення характеристик деталей, що працюють в умовах граничного тертя. Наведене зменшення інтенсивності зношування в 1,5–2 рази та підвищення мікротвердості на 18–27 % характеризують результати відповідного методу обробки [5]. Однак ці показники не можна безпосередньо переносити на технологію шліфування гільз гідроциліндрів без окремої експериментальної перевірки.

Для оцінювання ефективності запропонованого технологічного підходу доцільно порівнювати зміцнені та незміцнені зразки за показниками мікротвердості, зносостійкості, шорсткості, геометричної точності та

структурного стану поверхневого шару. Додатково необхідно визначати продуктивність обробки, енергоємність технологічного процесу й економічну доцільність відновлення порівняно із заміною гільзи новою деталлю.

Практичне використання технології шліфування може створити передумови для підвищення ремонтопридатності гідроциліндрів, скорочення обсягів вибраковування придатних до відновлення деталей і раціональнішого використання металевих ресурсів. Водночас підтвердження фактичного приросту ресурсу потребує стендових та експлуатаційних випробувань із дотриманням установлених методик.

Висновки. Недостатній експлуатаційний ресурс відремонтованих гідроциліндрів автомобільно-тракторної техніки пов'язаний, зокрема, з обмеженими можливостями традиційних технологій відновлення робочих поверхонь гільз. Це обґрунтовує необхідність розроблення методів, які поєднують відновлення геометричних параметрів із підвищенням зносостійкості поверхневого шару.

Перспективним напрямом удосконалення ремонтного виробництва є технологія шліфування сталевих гільз, яке передбачає механічний вплив на матеріал. Його застосування потенційно дає змогу поліпшити фізико-механічні властивості робочої поверхні та збільшити довговічність деталей.

Наведені дані щодо поверхневого шліфування свідчать про можливість істотного поліпшення характеристик поверхневого шару, проте ефективність даної технології необхідно підтвердити окремими дослідженнями на матеріалі гільз гідроциліндрів.

Для обґрунтування технологічних режимів шліфувальної обробки необхідно встановити вплив інтенсивності механічного навантаження та тривалості процесу на мікротвердість, структурний стан, геометричну точність і зносостійкість гільз.

Упровадження науково обґрунтованої технології шліфування може сприяти підвищенню ремонтопридатності гідроциліндрів, зменшенню витрат на заміну деталей і раціональнішому використанню матеріальних ресурсів. Остаточне оцінювання ефективності такого підходу має ґрунтуватися на результатах експериментальних і експлуатаційних випробувань.

Список використаних джерел

1. Ляшенко С., Келемеш А., Бурлака О., Лавренко В. Покращення техніко-експлуатаційних характеристик гільз гідроциліндрів автомобільно-тракторної техніки шляхом застосування термомеханічного зміцнення для удосконалення технології їх відновлення. Вісник Херсонського Національного технічного університету (ХНТУ) № 3(94), Ч. 1, 2025 р. С.165-176. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1
https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/issue/view/76

2. Avtukhov A. K., Martynenko O. D., Tikhonov O. V., Bantkovsky V. A. / Service Engineering. Technical Service in Agricultural Machinery and Machine Repair

[Electronic Resource]: Course of Lectures for Bachelors in Specialty 208 "Agroengineering" (3 credits). - Kh.: DBTU, 2022. - 135p..

3. Edalati, K., Bachmaier, A., Beloshenko, V. A., Beygelzimer, Y., Blank, V. D., Botta, W. J., ... & Zhu, X. (2022). Nanomaterials by severe plastic deformation: review of historical developments and recent advances. Materials Research Letters, 10(4), 163-256.

4. Cabinet of Ministers of Ukraine Order of November 15, 2024 No. 1163-r Kyiv On approval of the Strategy for the Development of Agriculture and Rural Areas in Ukraine for the period until 2030 and approval of the operational plan of measures for its implementation in 2025-2027.

5. KUMAR, Prashant, et al. A review of hydraulic cylinder faults, diagnostics, and prognostics. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2024, 11.5: 1637-1661.

УДК 629.33.083:631.1

ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС, НАДІЙНІСТЬ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Дорошенко С. В., Дудник В. В., Бабич Я. В.
Полтавський державний аграрний університет

На сьогоднішній день українська держава переживає складний час свого становлення, як європейська цивілізована незалежна держава.

Особливо важко доводиться сільському господарству, так як в своїй більшості саме сільськогосподарські підприємства не можуть існувати в даних умовах рентабельно. Приватні і фермерські господарства, придавлені тягарем податків і недостатньою увагою з боку держави, не можуть працювати на повну силу. З іншого боку низькі реалізаційні ціни на сільськогосподарську продукцію, дороговизна енергоносіїв, техніки, матеріалів і запасних частин негативно впливають на економіку виробників продукції.

Та навіть в таких складних виробничо-економічних умовах підприємства, виробники зобов'язані виробляти максимум конкурентоздатної продукції, опираючись на наявний технічний потенціал і людей.

Створений технічний потенціал в нинішній час може бути ефективно використаний при умові об'єднання зусиль сільськогосподарських підприємств, фермерів, орендарів, власників і ремонтно-обслуговуючих підприємств. Поряд зі зміцненням матеріальної бази, її забезпеченням засобами механізації і автоматизації, підготовкою висококваліфікованих кадрів, вирішальне значення має вдосконалення організації ТО техніки.

Із загального обсягу механізованих робіт, що виконуються в сільському господарстві, левова доля припадає на транспорт, в т.ч. на автомобілі. Нині по

об'єму виконуваних робіт, автотранспорт прирівнюється до машино-тракторного парку.

Сьогодні виробництво неможливо уявити без автомобільного транспорту. І якість роботи автомобілів в першу чергу залежить від їх технічного стану, надійності і роботоздатності.

Висока технічна готовність рухомого складу автомобілів, безвідмовність і надійність забезпечуються наявністю хорошої виробничої бази для ТО і ремонтів.

Сучасна наука розробила, а промисловість випустила велику кількість інструментів, приладів і установок для оперативного контролю технічного стану автомобілів. Розроблено багато типів виробничих баз для ТО і ремонтів автомобілів. І все ж не дивлячись на таку ситуацію з обслуговуванням автомобілів, в багатьох господарствах відсутні бази для ТО автомобілів, відсутнє необхідне оснащення, не плануються графіки ТО автомобілів, ремонти проводяться тільки після аварійних відмовлень.

Все це в першу чергу пояснюється не слабкою економічною базою господарства, а відсутністю компетентних інженерно - технічних працівників, невмінням правильно обґрунтувати сучасними засобами ТО і організувати його проведення.

Тому сьогодні кожному підприємству необхідно мати хорошу базу і раціонально організовувати обслуговування з урахуванням сьогоднішньої економічнюї ситуації.

При проведенні технічного обслуговування, діагностування технічного стану вузлів і агрегатів, прогнозування залишкового ресурсу не проводиться, в основному через відсутність необхідних приладів. [4]

Для підтримки рухомого складу автопарку в дієздатному стані у товаристві застосовують три основні схеми [1] організації технічного обслуговування і поточного ремонту автомобілів.

По першій схемі технічне обслуговування і поточний ремонт проводяться безпосередньо в Товаристві. У відповідності з даною схемою кожне товариство повинно мати необхідні виробничі споруди і будівлі, обладнання та кваліфікованих спеціалістів, матеріально-грошові ресурси.

По другій схемі технічне обслуговування і поточний ремонт усіх автомобілів в повному обсязі виконують на спеціалізованих станціях технічного обслуговування (СТОА). [2] На підприємствах передбачаються лише стоянки для автомобілів з профілакторіями. Це більш висока форма організації ТО і поточних ремонтів.

По третій схемі технічне обслуговування і поточний ремонт автомобілів проводяться на підприємствах і на СТОА. При цьому тільки невелика частина автомобілів може повністю обслуговуватись на підприємствах або на станціях ТО. Виробнича база на підприємствах для ТО автомобілів при наявності в районі СТОА є складовою частиною матеріально-технічної бази МТП. [3]

Досвід роботи спеціалізованих СТОА показав, що при централізованому ТО з впровадженням агрегатно-вузлового методу поточного ремонту забезпечується

підвищенням коефіцієнта технічної готовності вантажних автомобілів на 10%, підвищення використання парку автомобілів на 3-5%, зменшення числа відмовлень - на 1,6%, зростання міжремонтного пробігу на 10- 12.

З розвитком мережі СТОА підвищується продуктивність праці в процесі технічної експлуатації автотранспорту і якості робіт по технічному утриманню машин. Це дозволяє вирішити проблему кваліфікованих робітників для ремонту і обслуговування автомобілів, зменшити потребу в ремонтно - обслуговуючому персоналі на 20-25%, при цьому коефіцієнт готовності парку автомобілів, що обслуговуються на СТО, підвищується на 9-11%, скорочується витрата палива на 2-3%, витрата запчастин на 10-15%, збільшується середньодобовий пробіг автомобіля на 1,5 тис. км, коефіцієнт використання парку - на 5-6%.[4]

Список використаних джерел

1. Канарчук В.Є., Курніков І.П. Технічна експлуатація автотранспортних засобів: навч. посібник. Київ: Вища школа, 2014. 355 с.

2. Лудченко О. А., Технічне обслуговуваня і ремонт автомобілів. Підручник - К.: Знання-Прес, 2003.- 511с.

3. Строков О.П.,Макаренко М.Г., Фролов В.Ф.Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.- 156с.

4. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія. Підручник. К.: Вища ШК., 2007. 527 с.

УДК 656.135:005.334

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РИЗИКУ НЕЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ ПРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Загурський О. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Зростання частки автомобільних вантажних перевезень, виявило серйозні проблеми у забезпеченні безпеки вантажів. Автомобільний транспорт стикається з численними ризиками, які можуть призвести до пошкодження або втрати вантажу, включаючи аварії, крадіжки, неналежне пакування, вібрації та вплив на довкілля. Ці ризики не лише ставлять під загрозу якість та цілісність товарів, а й призводять до економічних втрат і зниження ефективності глобальних ланцюгів постачань. Так лише щорічні втрати Європейського Союзу від крадіжок вантажів за оцінками J. Kubanova, I. Kubasakova, становлять близько 8,2 млрд євро, що в середньому відповідає 6,7 євро на одну транспортну операцію [1].

Слід зазначити, що проблема оцінки ризиків незбереженості вантажів не нова. Розробці підходів щодо оцінки та управління ризиками незбереженості

вантажів приділяли увагу як вітчизняні так і зарубіжні вчені. Серед них слід відзначити праці Р. Бернса та Ч. Кроуфорда [2], Н. Долженко з співавторами [3], П. Мора Лозано та Дж. Монтойя-Торреса [4], Л. Янковскої та І Петрик [5] та низки інших. В їх працях велика увага приділяється дослідженню причин незбереженості вантажів, оцінці ризиків втрат вантажів та аналізу технічних рішень щодо їх збереження. Разом з тим недостатньо розробленими залишаються положення щодо комплексної оцінки незбереженості вантажів у всіх фазах транспортного процесу.

Метою роботи є дослідження основних джерел ризику незбереженості вантажів під час перевезення автомобільним транспортом

У транспортній сфері заздалегідь гарантувати стовідсотково якісне обслуговування «апріорі» неможливо – це одна зі специфічних характеристик транспортної галузі, пов'язана із багатофакторності впливів на вантаж під час його транспортування та ризиками, що виникають у наслідок цих впливів. Навіть природа ризиків, заснованих на небезпеках і загрозах, є принципово різною, що призводить до різних труднощів їх аналізу на одному рівні. Запропонований у дослідженні підхід, що базується на систематизації ключових факторів ризику, їх структуризації, ієрархії та взаємозв'язку спрямований на підвищення обґрунтованості управлінських рішень щодо забезпечення збереженості вантажів у ланцюгах постачань. Він являє собою послідовність процесів якісного та кількісного аналізу ризику незбереженості вантажу, які забезпечують системне проведення кількісної оцінки ризику для конкретного виду перевезення [6].

Першим етапом цього алгоритму є ідентифікація ризиків незбереженості вантажу шляхом формування факторного простору. На цьому етапі здійснюється формування номенклатури факторів незбереженості вантажу, включно з факторами впливу зовнішнього середовища, з урахуванням специфіки конкретного виду перевезення.

На другому етапі з метою зменшення розмірності задачі та концентрації уваги на найбільш значущих чинниках застосовується метод парних порівнянь експертних оцінок (зокрема, підхід аналізу ієрархій). Експерти порівнюють фактори між собою за ступенем впливу на ризик незбереженості вантажу, внаслідок чого визначаються їх відносні вагові коефіцієнти. Домінантними вважаються фактори, що мають найбільші значення ваг і здійснюють визначальний вплив на формування інтегрального ризику.

На третьому етапі здійснюється формалізація ризиків, що передбачає вибір методик для кількісної оцінки домінантних факторів незбереженості вантажу та факторів зовнішнього середовища. Відібрані домінантні фактори переводяться з якісного опису у формалізований вигляд, придатний для подальшого математичного аналізу. Кожному фактору ставиться у відповідність змінна, що характеризує рівень його прояву. Формалізація дозволяє встановити чіткі межі значень факторів та підготувати їх до використання у моделі нечіткого логічного виводу або регресійного аналізу.

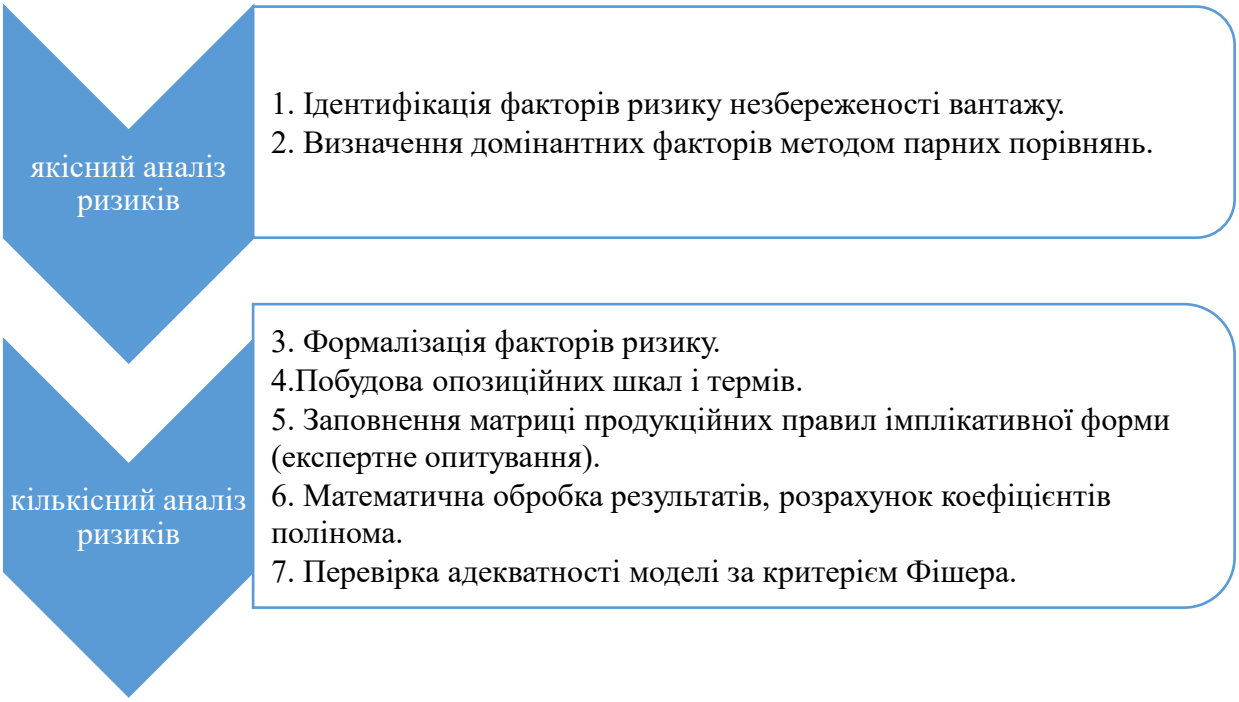


Рис. 1 Алгоритм формування комплексної оцінки ризику незбереженості вантажів під час автомобільних перевезень

На четвертому етапі відбувається розроблення опозиційних шкал і термів для кожного фактору, кодування значень за єдиною системою. Кожен терм описується функціями належності, що відображають ступінь прояву факторів ризику. Такий підхід дозволяє поєднати кількісні та якісні характеристики транспортного процесу в єдиній моделі. Побудова шкал і термів враховує галузеву термінологію, кожна якісна характеристика задається обраною методикою з відповідною шкалою. Перехід усіх вихідних значень за кожним фактором у єдиний стандартизований масштаб дає змогу порівнювати їх між собою та виявляти статистично незначущі коефіцієнти рівняння на фоні похибки.

На п’ятому етапі здійснюється експертне опитування, у ході якого експерти заповнюють рядки матриці, що мають вигляд продукційних правил імплікативної форми («Якщо …, то …»). Кількість рядків матриці N відповідає кількості звернень до експерта. Щоб зменшити навантаження на експертів і уникнути необхідності опрацювання великих масивів даних, застосовано напівреплікупу повного факторного експерименту $N=2n$, де n – кількість факторів.

На шостому етапі проводиться математична обробка результатів опитування, зокрема: обчислення коефіцієнтів полінома регресії; відкидання статистично незначущих коефіцієнтів, значення яких не перевищують поріг похибки. Формується аналітична модель у вигляді полінома, коефіцієнти якого визначають внесок кожного фактору у загальний рівень ризику. Отриманий поліном дозволяє розрахувати інтегральний показник ризику незбереженості вантажу для конкретних умов перевезення.

Останній, сьомий етап, передбачає перевірку адекватності отриманої моделі досліджуваному явищу за допомогою стандартних статистичних методів. Застосування критерію Фішера дає змогу перевірити статистичну значущість моделі та підтвердити доцільність її використання для прогнозування рівня ризику незбереженості вантажів у реальних умовах автомобільних перевезень. Це дозволяє оцінити відповідність математичної моделі реальним даним та підтвердити її придатність для практичного використання.

Отже запропонований алгоритм забезпечує комплексний підхід до оцінювання ризиків незбереженості вантажів, поєднуючи експертні знання з формальними методами математичного аналізу. Його використання дозволяє сприяти зниженню втрат вантажів у ланцюгах постачання.

Список використаних джерел

1. Kubanova J., Kubasakova I. Security Risks in the Trucking Sector, Transportation Research Procedia, Volume 44, 2020, 234-239.

2. Burns R., Crawford C. Moving Forward in the Study of Cargo Theft: Data Collection, Extent, and Crime Control Theater. Journal of Applied Security Research. 2025. 20. 1-25. https://doi.org/10.1080/19361610.2025.2472072

3. Dolzhenko N., Imasheva G., Berkesheva A., Garmash O., Beketov T. Development of Innovative Cargo Safety Systems for Vehicles. Journal of Studies in Science and Engineering, 2025, 5(2), 124-143. https://doi.org/10.53898/josse2025536

4. Mora Lozano P.E., Montoya-Torres J.R. () Global Supply Chains Made Visible through Logistics Security Management. Logistics, 2024. 8, 6. https://doi.org/10.3390/logistics8010006.

5. Yankovska L., Petryk I. (). Safety of Cargo Transportation in the Ukrainian Supply Chain: Risk Management and Legal Issues. Law, Business and Sustainability Herald, 2022, 2(1), 49-56. http://doi.org/10.46489/lbsh.2022-2-1-5

6. Zagurskyi O., Savchenko L., Pokusa T., Ohiienko M., Zagurska S., Ohiienko A. Cargo safety risks in logistics systems. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2026. 200.

УДК 629.3.083

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО НАРОЩУВАННЯ

Іванкова О. В., Рамазанов Т. Д., Никоненко С.Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Сучасне машинобудування, зокрема автомобілебудування, потребує впровадження нових матеріалів і технологічних рішень, які забезпечують надійну роботу деталей в умовах підвищених температур і динамічних навантажень. Важливим напрямом підвищення експлуатаційної надійності та

довговічності деталей є застосування ефективних технологій відновлення та поверхневого зміцнення.

Формування функціональних покриттів дає змогу підвищити зносостійкість, корозійну та жарову стійкість робочих поверхонь, зменшити витрати дефіцитних і дороговартісних матеріалів, а також подовжити ресурс деталей і забезпечити їхню подальшу ефективну експлуатацію.

Одним із перспективних методів поверхневої обробки деталей є електроіскрове легування, що ґрунтується на перенесенні матеріалу електрода на оброблювану поверхню під дією імпульсних електричних розрядів [1, 2]. У результаті формується модифікований поверхневий шар зі зміненими структурою, фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками.

Електроіскрове легування та електроіскрове нарощування реалізуються на основі спільного фізичного механізму, однак відрізняються цільовим призначенням. Електроіскрове легування застосовують переважно для модифікування поверхневого шару та підвищення його експлуатаційних властивостей, тоді як електроіскрове нарощування спрямоване на формування шару необхідної товщини для компенсації зношування й відновлення геометричних параметрів деталей. У контексті ремонту колінчастих валів останній метод становить практичний інтерес для відновлення розмірів зношених шийок із подальшим забезпеченням необхідної якості робочої поверхні.

За результатами експериментальних досліджень, наведених у працях [3, 4], отримано регресійну залежність сумарного приросту катода $\sum \Delta k$ (Y), г/см², від вмісту основних і легувальних елементів анода, енергії імпульсу E_u та кількості проходів електрода n

Коефіцієнт кореляції отриманої моделі становить R>0,9:

$$\sum \Delta k = 1.11 \frac{\sqrt{C \cdot E_u}}{Cr^2} \cdot n - 0.02 \frac{E_u \cdot \sqrt{C}}{C_r} \cdot n^2$$

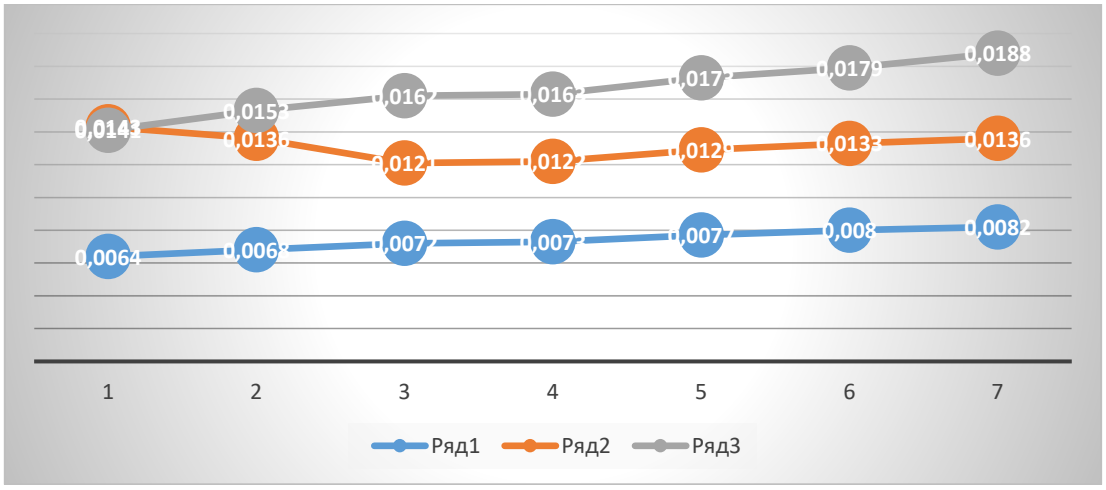
де С, Сг - відповідно вміст карбону та хрому в електроді, мас.%;

E_u - енергія імпульсу при обробці, Дж;

n - число проходів електродом при обробці

Було досліджено вплив на приріст електроду $\sum \Delta k$ (Y) концентрації С,% та кількості проходів n. Було задано: концентрацію Cr=15% ; величину енергії імпульсу – E_u =0,22 Дж.

На рис. 1 наведено залежність $\sum \Delta k$ (Y) від вмісту в ньому карбону, С,% та числа проходів електрода.



Ряд1 - 1 прохід електрода; ряд 2 - 2 проходи; ряд 3 - 3 проходи; 1 - 1,5%С, 2 - 1,75%С,3 - 1,9%С, 4 - 2%С, 5 – 2,22%С, 6 – 2,4%С, 7 – 2,5%С.

Рис. 1 – Графічна залежність сумарного приросту катода від вмісту карбону та числа проходів електроду

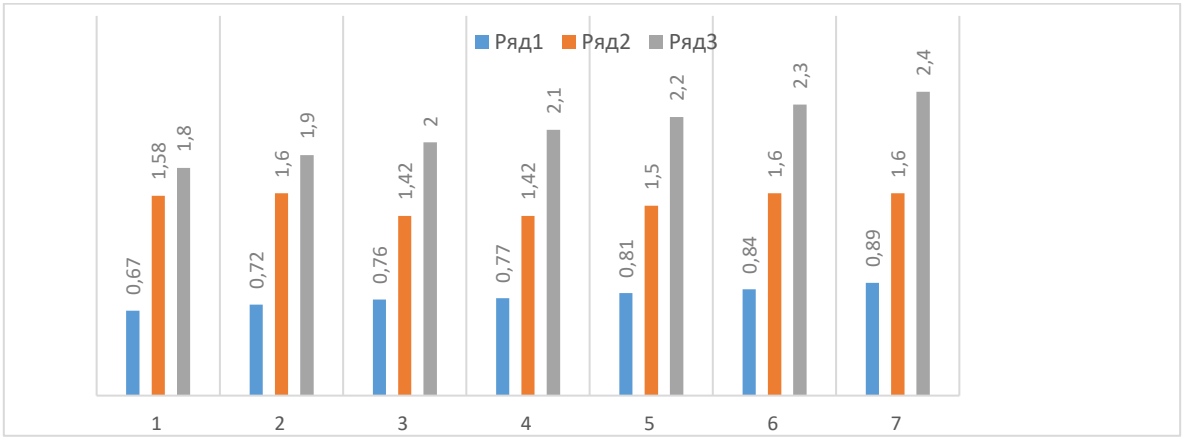
Величина $\sum \Delta k$ (Y), дозволяє оцінити товщину покриття h, яке при цьому утворюється:

$$h = \frac{\beta \cdot \sum \Delta k}{\rho}$$

де β - поправочний коефіцієнт [1], що враховує пористість, нещільність і шорсткість нанесеного покриття $\beta \geq 0{,}78$ при n=1 , β =0,89 при n=2, β =0,97при n=3,

ρ - густина матеріалу електрода-інструмента, г/см^3 .

На рисунку 2 наведено графічну залежність товщини нанесеного покриття h, мм, від кількості проходів електрода.



Ряд 1 відповідає товщині покриття h після одного проходу електрода, ряд 2 - після двох проходів, ряд 3 - після трьох проходів.

Рис. 2 – Залежність товщини нанесеного покриття h, мм, від кількості проходів електрода.

Висновки

1. На основі експериментальних досліджень і регресійного аналізу встановлено залежність сумарного приросту матеріалу катода від хімічного складу анода, енергії імпульсу та кількості проходів електрода. Коефіцієнт кореляції (R>0,9) свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними параметрами.

2. Теоретичними розрахунками обґрунтовано доцільність використання електродів із вмістом вуглецю 1,5-2,5 % і хрому 10-15 % за двох-трьох проходів, що забезпечує необхідний приріст матеріалу катода та раціональне використання електродного матеріалу.

3. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальне оцінювання зносостійкості покриттів і оптимізацію режимів електроіскрового нарощування для відновлення деталей автомобільної техніки.

Список використаних джерел

1. Лузан С.О., Сідашенко О.І., Лузан А.С. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей: курс лекцій. Харків: Діса плюс, 2020. 127 с.

2. Попов В.С. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин / Попов В.С. Запоріжжя: Мотор-Січ, 2006. 420 с.

3. Оптимізація процесу нанесення електроіскрових покриттів при зміцненні автомобільних деталей типу "вал"/Козак Ф. В., Прунько І. Б., Феденько В. Я., Гладун М. Р./Матеріали, конструкції та обладнання об'єктів нафтогазового комплексу. Нафтогазова енергетика 2023. № 2(40) ISSN 1993-9868 (print), (DOI):10.31471/1993-9868-2023-2(40)-66-72

4. Іванкова О. В., Бурлака О. А., Бартош В.Ю. Матеріали і технології відновлення зношених поверхонь автомобільних деталей. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки», №10 (41)1, 2024р., 236-249, DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.236-249

УДК 621.793/.795

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Келемеш А. О., Дорошенко С. В., Бєлозоря Ю. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Можливо зауважити, що в сучасному автомобілебудуванні все більшого поширення набуває використання деталей, виготовлених з кольорових металів і сплавів. Відомо, що такі деталі при

використанні у вузлах та агрегатах автомобільного транспорту витримають значні питомі динамічні та статичні знакозмінні навантаження та працюють при високих швидкостях та температурах [1]. Більшість таких деталей виконані у формі бронзових підшийників ковзання типу «втулка» [2]. Прикладом використання описаних кінематичних пар, що використовують бронзові деталі, є підшипники ковзання в розподільчих валах механізму газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння.

Пластична деформація бронзи, характер поведінки такого матеріалу при різних навантаженнях та температурних режимах є досить актуальною науковою проблемою, питання подальшого дослідження можуть бути проведені в напрямку здійснення пластичної деформації з використанням вібраційного інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Відомо, що використання вібраційних коливань та пластичної деформації у якості складових технологічних процесів відновлення просторових форм та зміцнення робочих поверхонь деталей типу «втулка», дає змогу отримати суттєві переваги в порівнянні з загальнопоширеними традиційними методами обробки та виготовлення таких деталей.

Дослідження експериментального характеру [1], представлені як результати вивчення впливу пластичної деформації на міцність, на розрив і втомну довговічність при крученні бронзового сплаву CuSn7Zn4Pb7. Останні є систематизацією різних видів пошкоджень з урахуванням різних комбінацій пластичної деформації та навантажень. Мікроструктуру деформованого матеріалу [1] розглянуто з перевіркою на відповідність стандартам бронзи.

Результати досліджень щодо пластичної деформації та бронзового покриття [2] може ефективно використовуватись при покращенні з'єднання втулка-вал. Праця [3] містить складові технологічних процесів «внутрішньогранулярного ультрананоосадження». Мета – доволі сильна пластифікація з одночасним зміцненням полікристалічних сплавів Cu. При цьому підвищується пластичність сплаву олов'яної бронзи на розтяг більш ніж у 2 рази, а також на 20% підвищується міцність сплаву.

Праця [4] містить результати досліджень щодо поведінки гарячої деформації сплаву C83600 Tin Bronze за підвищених температур. Віднайдені та подані основні рівняння, що описують закономірності високотемпературного напруження течії цього сплаву.

Обробка тиском поверхонь з використанням вібрації в своїй основі містить коливальні гармонійні рухи відносно поверхні деталі, що піддається обробці при взаємодії з оброблювальним інструментом [5]. В наукових працях [6,7] авторами визначено підвищення опору втоми металу за умови здійснення віброударних навантажень, віднайдено покращення механічних властивостей робочих поверхонь при застосуванні відцентрового вібраційного зміцнення. Авторами у праці [7,8] зазначається зменшення використання матеріальних та трудових ресурсів в ремонтному виробництві при запровадженні вібраційних

технологій.

На основі вищевикладеного, вважаємо за необхідне проведення подальших розширених досліджень щодо визначення закономірностей вібраційного деформування деталей автомобілів.

Мета дослідження при цьому може бути визначена як визначення оптимальних параметрів технологій вібраційної обробки робочих поверхонь бронзових деталей автомобільних двигунів.

Результати досліджень. Предметом дослідження було обрано зразки натуральних зношених деталей автомобільних двигунів. Такі зразки були виготовлені з бронзи БрОЦС 5-5-5 (рис. 1).

Вібраційне відновлення та зміцнення внутрішньої поверхні досліджуваних зразків було виконано з використанням спеціального пуансону, виготовленого з інструментальної сталі У7.

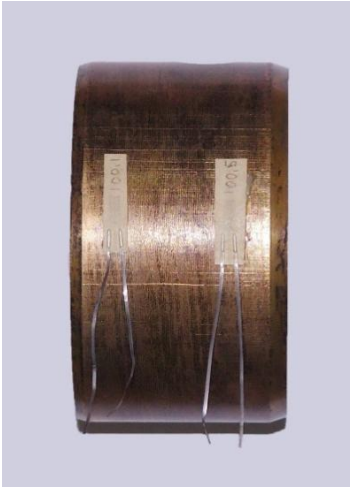


Рис. 1. Натурний зразок опорної втулки розподільчого валу автомобільного двигуна автомобіля КРАЗ, додатково обладнаного тензодатчиками

Твердість робочої поверхні пуансона становила 55–58 одиниць HRC.

Експериментальні дослідження по визначенню ступеня впливу зміни кута ухилу робочої поверхні пуансона на міцності характеристики обробленої поверхні бронзових втулок автомобільних двигунів були проведені у варіаціях такого кута пуансона - β: 8°, 9°, 10°.

За допомогою експериментального обладнання виконано низку дослідів з вібраційного пластичного деформування бронзових деталей – роздачі внутрішньої робочої поверхні або зовнішнього обтискання деталей типу «втулка» з одночасним зміцненням робочих поверхонь.

Визначення механічних та міцністних властивостей робочих поверхонь оброблених бронзових втулок автомобільних двигунів було виконано на основі відшліфованих пластин. Такі пластини виготовлені з опорних втулок розподільчих валів автомобільних двигунів автомобіля КРАЗ. При цьому відновлення чи виготовлення нових втулок здійснено із застосуванням технології вібраційного пластичного деформування.

Результати експериментів виявили наступні закономірності: кількість зсунутого металу поверхневого обробленого шару бронзової втулки має суттєву ступінь впливу від величину кута ухилу β, а також припуску на обробку та швидкості вібраційного деформування. При збільшенні швидкості руху пуансона маса зсунутого шару бронзи на торець досліджуваного зразка втулки збільшується.

Можливо зазначити, що при виборі кута ухилу конуса пуансона β=9°, припуску на шліфування П=0,4 мм, при пластичному вібраційному деформуванні маса зсунутого металу поверхневого обробленого шару у 6,5 разів менше в порівнянні зі звичайним пластичним деформуванням.

Висновки:

1. За проведеними експериментальними дослідженнями можливо зазначити, що доцільно використовувати вібраційне пластичне деформування при відновленні ремонтних та виготовленні нових бронзових деталей типу «втулка» автомобільних двигунів.

2. На основі кількісних та якісних результатів експериментального дослідження отримані оптимальні параметри технологічного процесу щодо застосування вібраційного пластичного деформування при зміцненні робочої поверхні бронзових опорних втулок розподільчого валу автомобільних двигунів.

Список використаних джерел

1. Aleksander Hebda, Tadeusz Łagoda, Joanna Małecka, Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures, Engineering Failure Analysis, Volume 163, Part B, 2024, 108593, ISSN 1350-6307, https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108593 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630724006393)

2. Tarelnyk, V., Haponova, O., Mościcki, T., Tarelnyk, N. (2024). Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. (https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34)

3. Kaixuan Chen, Jiangxu Shen, Zongxuan Li, Xiangkai Chen, Kaisheng Ming, Yuzhi Zhu, Xiaohua Chen, Tianxin Weng, Zidong Wang, Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit, Scripta Materialia, Volume 234, 2023, 115535, ISSN 1359-6462, https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646223002592)

4. Yangbiao Zeng, Lirong Huang, Wen Liu, Chunge Wang, Chaoyang Wang, Xiang Yan, and Chaoyan Lian "The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models", Proc. SPIE 13082, Fourth International

Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing, and Automation Technology (MEMAT 2023), 130823V (1 April 2024);
(https://doi.org/10.1117/12.3026109)
5. Marquis, G. Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines [Text] / G. Marquis, E. Mikkola, H. Yildirim et al. // Weld World. – 2013. – N. 57(6). – P.803–822.
6. Djema, M. Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces [Text] / M. Djema, K. Hamouda, A. Babichev, D. Saidi, D. Halimi // Metal, Czech Republic, Brno. – 2012. – N.5. – P.23–25.
7. Stotsko, Z. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts [Text] / Z. Stotsko, J. Kusyj, V. Topilnytskyj // Journal of Manufacturing and Industrial Engineering. – 2012. – Vol. 11. – P.15–17.
8. Mamalis, A. Mathematical simulation of motion of working medium at finishing–grinding treatment in the oscillating reservoir [Text] / A. Mamalis, A. Grabchenko, A. Mitsyk, V. Fedorovich, J. Kundrak // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014. – N.70(1). – P.263–276.

УДК 629.113

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОМОБІЛЕЙ КРАЗ-65053

Курелех М. В., Бурлака О. А.
Полтавського державного аграрного університету

Постановка проблеми. Забезпечення високої продуктивності та належної якості транспортних послуг неможливе без функціонування ефективної системи технічного сервісу, складовою якої є сучасна ремонтно-обслуговуюча база [2,3]. Така база повинна забезпечувати своєчасне технічне обслуговування, діагностування, поточний і капітальний ремонт автомобілів, а також відновлення працездатності їхніх вузлів, агрегатів та систем. Тому вдосконалення організаційно-технологічних і конструктивних засад технічного сервісу автомобільного транспорту є актуальним науково-практичним завданням для підприємств транспортного комплексу.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність транспортного процесу значною мірою визначається технічним станом рухомого складу [1,2]. Зниження рівня технічної справності автомобілів призводить до збільшення простоїв, зростання експлуатаційних витрат, зниження продуктивності транспортних засобів та порушення встановлених строків доставки вантажів [2,3]. Особливої актуальності ці питання набувають під час експлуатації спеціалізованого та великовантажного автомобільного транспорту [3,4,7]. До такого транспорту

висуваються підвищені вимоги щодо надійності силових агрегатів, трансмісії, ходової частини, гальмівної системи та інших конструктивних елементів [3,5].

Метою дослідження є підвищення ефективності технічного сервісу автомобільного транспорту шляхом удосконалення елементів конструктивно-технологічного забезпечення процесів технічного обслуговування та ремонту вантажних автомобілів типу КрАЗ-65053.

Результати досліджень. Раціональна організація ремонтно-обслуговуючого виробництва передбачає формування спеціалізованих виробничих дільниць, оснащених відповідним технологічним обладнанням, засобами діагностики, спеціальним інструментом і пристосуваннями.

Для підприємств, що спеціалізуються на обслуговуванні вантажних автомобілів підвищеної вантажопідйомності, характерною є необхідність виконання широкого комплексу ремонтно-відновлювальних операцій. До найбільш поширених видів робіт належать:

- технічне обслуговування та ремонт автомобільних двигунів;
- ремонт коробок передач та елементів трансмісії;
- діагностування і ремонт роздавальних коробок;
- технічне діагностування та відновлення електричних і електронних систем;
- ремонт системи живлення двигуна;
- ремонт гальмівної системи;
- ремонт ходової частини та рульового керування;
- відновлення окремих деталей, вузлів і агрегатів;
- контроль технічного стану та перевірка працездатності відремонтованих агрегатів.

Організаційне та технічне забезпечення поточного і капітального ремонту вузлів та агрегатів вантажних автомобілів підвищеної вантажопідйомності доцільно здійснювати з урахуванням таких основних складових:

Під час проєктування нових або модернізації наявних автосервісних підприємств необхідно враховувати фактичний і прогнозований попит на ремонтно-обслуговуючі послуги, географічне розташування споживачів, транспортну доступність, стан автомобільних доріг, наявність складів запасних частин, допоміжних виробничих об’єктів та інших елементів інфраструктури.

Підвищення ефективності ремонтного виробництва може бути забезпечене шляхом кооперації між підприємствами, спеціалізації окремих виробничих операцій, а також диверсифікації напрямів діяльності авторемонтних підприємств. Це дозволяє раціональніше використовувати обладнання, спеціальний інструмент, виробничі площі та трудові ресурси.

Використання сучасних діагностичних засобів дозволяє підвищити об’єктивність оцінювання технічного стану вузлів і агрегатів, своєчасно виявляти несправності та визначати необхідність проведення ремонтних робіт. Особливого значення набуває застосування цифрових засобів діагностування та автоматизованого контролю параметрів технічного стану.

Система технічного сервісу повинна мати достатню гнучкість для оперативного реагування на зміни попиту, номенклатури ремонтних робіт, вартості запасних частин і технологічних матеріалів, а також фінансових можливостей підприємства. Важливим напрямом є формування автономних виробничих дільниць, здатних виконувати спеціалізовані види ремонтно-обслуговуючих робіт.

Щодо технологічних процесів ремонту агрегатів автомобіля КрАЗ-65053, то позитивний виробничий досвід організації технічного сервісу свідчить про доцільність використання спеціалізованих підприємств, виробничі потужності яких орієнтовані на обслуговування та ремонт певних типів автомобілів.

Основні технічні та технологічні характеристики вантажного автомобіля КрАЗ-65053, а також його основні конструктивні особливості наведено в табл. 1.

Таблиця 1.- Основні технічні характеристики бортового автомобіля КрАЗ-65053 [https://banga.ua/pages/avtomobili-kraz/bortovoy-kraz-65053]

Колісна формула	6х4
Маса спорядженого автомобіля, кг	10900
Повна маса автомобіля, кг	28000
Вантажопід'ємність, кг	17000
Конструктивно допустима вантажопід'ємність, кг	20000
Допустима повна маса причепа, що буксирується, кг	20000
Внутрішні розміри платформи, мм	5770х2320х830
Двигун дизельний, V-подібний турбонаддувом	ЯМЗ-238ДЕ2 (EURO-2)
Об'єм двигуна, л	14,86
Тип двигуна	8V
Число циліндрів	8
Потужність двигуна, кВт (л.с.) при 2100 хв-1	243 (330)
Максимальний крутний момент двигуна, Н·м (кгс·м) при 1100-1300 хв-1	1274 (130)
Ресурс роботи двигуна, км	800 000
Коробка передач - механічна, двухдіапазонна, восьмиступенева	ЯМЗ-2381
Зчеплення - сухе, однодискове	ЯМЗ-183
Ведучі мости – центральні, двухступеневі, односшвидкістні з міжколесними диференціалами, що блокуються, середній міст – прохідного типу с міжосьовим диференціалом, що блокується	
Передаточне число головної передачі	6,154
Шини	12.00R20 (320R-508)
Паливний бак, л	2х250

Максимальна швидкість, км/год.	90
Максимальний підйом, що долається автомобілем, %	30
Контрольна витрата палива КрАЗом, л/100 км	33,5
Радіус повороту, м	13,0

Одним із найбільш складних технологічних процесів у системі ремонту вантажного автомобіля є відновлення працездатності його двигуна. Такий процес передбачає послідовне виконання комплексу очисно-мийних, розбиральних, дефектувальних, ремонтно-відновлювальних, комплектувальних, складальних, регулювальних та контрольних операцій.

Основними завданнями очисно-мийних операцій є видалення експлуатаційних і технологічних забруднень, які перешкоджають об'єктивному оцінюванню технічного стану деталей.

Розбирання дизельного двигуна здійснюють із використанням спеціалізованого технологічного обладнання, яке забезпечує надійне закріплення агрегату та безпечне виконання операцій. Для цього можуть застосовуватися ремонтні стенди, спеціалізовані підставки, транспортні візки та інші засоби механізації.

Після завершення розбиральних робіт здійснюють дефектування деталей, вузлів та агрегатів. Його основним завданням є визначення фактичного технічного стану складових частин двигуна, встановлення характеру і величини їх зношування, а також визначення можливості подальшої експлуатації, необхідності ремонту або заміни.

За результатами контролю деталі класифікують за технічним станом та можливістю подальшого використання:

- придатні до подальшої експлуатації;
- умовно придатні;
- такі, що підлягають ремонту або відновленню;
- непридатні.

Комплектування деталей повинно здійснюватися з урахуванням результатів дефектування, технічних вимог до спряжених деталей, установлених допусків та посадок, а також вимог виробника до складання відповідних агрегатів.

Для механізації розбирально-складальних операцій під час ремонту дизельних двигунів доцільно застосовувати спеціальні захвати, пристосування та технологічне оснащення. До таких засобів належать:

- захвати для блоків циліндрів;
- пристосування для утримування колінчастих валів;
- спеціальні пристосування для роботи з головками блока циліндрів;
- пристосування для демонтажу та монтажу муфт зчеплення;
- пристосування для встановлення поршнів із шатунами та поршневими кільцями у циліндри;
- пристосування для запресовування підшипників у посадочні місця;
- спеціалізовані стенди для складання та контролю агрегатів.

Застосування спеціалізованого технологічного оснащення дозволяє зменшити трудомісткість операцій, підвищити точність складання, скоротити ризик пошкодження деталей та підвищити рівень безпеки праці персоналу.

Висновки. У роботі здійснено аналіз сучасних підходів до організації технічного сервісу автомобільного транспорту та технологічного забезпечення процесів технічного обслуговування і ремонту вантажних автомобілів підвищеної вантажопідйомності, зокрема автомобілів типу КрАЗ-65053.

Перспективним напрямом удосконалення системи технічного сервісу є комплексне поєднання сучасних діагностичних технологій, спеціалізованого ремонтного обладнання, інформаційно-логістичного забезпечення, професійної підготовки персоналу та гнучкої організації виробничих процесів.

Список використаних джерел

1. В. П. Сахно, В. М. Поляков, І. С. Мурований, і С. М. Шарай, «До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності», ВМТ, вип. 10, вип. 2, с. 120–125, 2019.

2. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; Ред. А. М. Редзюка. – К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005, 400 с.

3. В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. В. Грицук, Т. В. Волкова, В. П. Кужель, і Ю. В. Волков, «Загальний підхід до формування моделей оцінювання технічного стану автомобіля в умовах експлуатації», ВМТ, вип. 9, вип. 1, с. 27–37, 2019.

4. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.

5. Біліченко В.В. Виробничо-технічна база підприємства автомобільного транспорту: Навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, С. О. Романюк, Є. В. Смирнов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 182 с.

6. Коробочка, О.М. Технологічне обладнання для ремонту автомобілів : навч. посіб. / О. М. Коробочка, О. Г. Чернета, Р. Г. Волощук. - Кам'янське : ДДТУ, 2017. - 215 с.

7. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств: навч. посіб. / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод, І.А. Дудніков, О.П. Ківшик. – Вінниця: Наукова книга, 2011. – 400 с.

УДК 621.18:662.6

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ І СПРЯЖЕНЬ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНІВ

Лапенко Т.Г., Лапенко Г.О., Ярошенко О.О.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Техніко-економічні показники дизеля насамперед залежать від досконалості протікання робочих процесів у камері згоряння. При цьому деталі, що обмежують камеру згоряння, випробовують максимальні механічні та термодинамічні навантаження, що обумовлює їх підвищений знос. До них відносяться: деталі циліндро-поршневої групи, головка блоку, клапани та пов'язані з ними деталі. Важкі умови роботи та важливе функціональне призначення цих деталей пред'являють до них ремонту жорсткі вимоги

Операції відновлення, механічної обробки чи заміни напрямних втулок, сідел і клапанів є необхідними при капітальному ремонті двигуна практично у 100% випадків. Виробники верстатного обладнання надають споживачеві рекомендації щодо виконання лише окремих операцій, до того ж, без урахування специфіки становища вітчизняному ринку запасних частин. У вирішенні питання підвищення якості ремонту з урахуванням сучасних технологічних можливостей деталі клапанної групи необхідно розглядати як єдину взаємозалежну систему [5]. Ефективне застосування сучасного високоточного обладнання та оснащення неможливо без впровадження науково обґрунтованого технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень. Деталі клапанної групи в процесі експлуатації знаходяться в жорстких умовах високих механічних і термічних навантажень [1,5]. До основних факторів, що обумовлюють знос і довговічність деталей, відносяться:

1. Значні, часто повторювані, циклічні ударні навантаження.
2. Висока температура, дія агресивних газів - для випускного сполучення.
3. Зміст сторонніх твердих частинок в робочій зоні - для впускного сполучення.
4. Матеріал, з якого виготовлені деталі клапанної групи.

Динамічні чинники, становлять найбільший інтерес з точки зору появи биття контактуючих поверхонь, тому що знос деталей в радіальному напрямку спочатку визначається зміщенням точки прикладання сили до торця клапана щодо його осі. У процесі роботи з появою зносів направляючої втулки і клапана, вплив цих факторів посилюється через зростання амплітуди поперечних коливань клапана у втулці.

Відмічені наступні знос і дефекти деталей клапанної групи:

Направляючі втулки мають такі дефекти: знос внутрішньої поверхні (58-96%), ослаблення посадки (7-13%), тріщини і злами (3-10%). Знос втулок носить виражений місцевий характер. У верхній частині втулок знос невеликий і має форму овалу, велика вісь якого перпендикулярна поздовжньої осі двигуна. У

нижній частині втулки зношуються більше, ніж у верхній зі збереженням напрямку зносу - найбільший знос спостерігається в місці удару у стрижня клапана по втулці з подальшим ковзанням при граничному терті. Більший знос випускних втулок в порівнянні з впускними пояснюється додатковим тепловим вантаженням в сполученні з клапаном [4].

На момент капітального ремонту знос втулок клапанів у верхній частини зазвичай складає 0,06-0,08 мм, а в середній 0,04-0,07 мм. У нижній частини знос втулок вище, ніж у верхній, досягає 0,24 мм і більше, і в середньому становить 0,10-0,12 мм. Коефіцієнт нерівномірності зносу по довжині: для втулок впускних клапанів 3-4, для втулок випускних клапанів 8-13.

Мета дослідження. Метою роботи було вивчення факторів діючих в механізмі газорозподілу похибок форми деталей клапанної групи. Вивчення механізму утворення відхилень від співосності клапана і сідла в процесі експлуатації двигуна. Розглянуті теоретичні та практичні передумови вдосконалення технології ремонту деталей і спряжень газорозподільчого механізму двигуна.

Результати дослідження. Проведена теоретична оцінка факторів, що обумовлюють спрямований знос деталей механізму газорозподілу. Проводилася оцінка сил реакції в направляючої втулці для випускного сполучення двигуна.

Побудова розрахункової схеми точності взаємного розташування деталей клапанної групи, яка враховує дійсні відхилення розмірів деталей і аналіз геометричної точності базування для різних типів технологічного обладнання. Розрахунок проводився з використанням відомих залежностей теорії розрахунку розмірних ланцюгів за імовірнісним методом.

Виконано підбір комплексу вимірювальних засобів для дослідження геометричних параметрів деталей клапанної групи проведена автором на основі проведеного аналізу розмірів напрямних втулок і клапанів. Оптимізація параметрів оцінки герметичності сполучення сідло-клапан проведена за розробленою методикою.

Висновки.

Проведений аналіз робочої схеми взаємодії деталей клапанного механізму дозволив встановити необхідність впровадження технологічного процесу, що забезпечує необхідний рівень якості ремонту за рахунок підвищення точності взаємного становища та обробки робочих поверхонь деталей клапанної групи.

Встановлено закономірність зміни форми сідел клапанів і отвори направляючої втулки при зносі в процесі експлуатації, яка виражається у формуванні еліпса з односпрямованим зміщенням центру напрямних втулок з обмеженням за параметрами герметичності поєднанні клапан-сідло та залишкового ресурсу роботи деталей клапанної групи після проведення ремонту.

Розроблено методику розрахунку точності взаємного положення деталей клапанної групи та базування різального інструменту при ремонті, відрізняється тим, що дозволяє:

-нормувати допустимі розміри деталей і сполучень, виходячи з величини допустимого розміру вихідного параметра

- визначати похибки базування напрямної втулки, клапана, ріжучого інструменту з урахуванням відхилень форми і положення деталей клапанної групи, що утворюють сполучення.

Для реалізації вдосконалення технології ремонту деталей та спряжень газорозподільного механізму двигуна рекомендується використовувати наступне обладнання:

1. Верстат Serdi HVR-90 для шліфовки клапанів.
2. Верстат для обробки фасок клапанів та сідл фірми Serdi S2.0.
3. Верстат для контролю геометрії відремонтованих деталей Carl Zeiss Jena DKM1-300DP.

Список використаних джерел

1. Мармут І.А. Основи проектування підприємств автомобільного транспорту. Конспект лекцій для здобувачів денної та заочної форми навчання за освітньою програмою «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Харків: ХНАДУ, 2023. 140 с.
2. Турченюк М.О., Швець М.Д., Кірічок О.Г., Кристопчук М.Є.. Планування діяльності автотранспортного підприємства: підручник. Рівне: НУВГП, 2017. 367 с.
3. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Організація і управління. К.: Знання, 2004. 478 с.
4. Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту. Навчальний посібник для студентів спеціальності: Автомобілі та автомобільне господарство. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 р. 226 с.
5. Коробочка О. М., Чернета О. Г., Волощук Р. Г. Технологічне обладнання для ремонту автомобілів: навч. посіб. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 215 с.

УДК 629.35:629.3.083

УДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДОВИХ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Лапенко Т. Г., Картавцев М. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Інтенсивності використання вантажного автомобільного транспорту в сучасних умовах супроводжується збільшенням експлуатаційних навантажень на основні агрегати, системи та конструктивні елементи автомобілів. Відповідно ефективність транспортного процесу визначається як техніко-експлуатаційними характеристиками автомобіля, так і рівнем організації технічного обслуговування (ТО), діагностування та ремонту. Недостатній рівень технічної готовності рухомого складу призводить до виникнення простоїв, зниження продуктивності, збільшення експлуатаційних

витрат і порушення ритмічності транспортного процесу.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесів технічного обслуговування та ремонту вантажних автомобілів як спеціалізованих, так і універсальних, шляхом удосконалення конструктивно-технологічного забезпечення технічного сервісу.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність функціонування вантажних автомобілів, як універсальних, так і спеціалізованих, безпосередньо залежить від технічного стану автотранспорту, експлуатаційної надійності та готовності до виконання транспортної роботи [1,2]. Зниження рівня технічного стану вантажного автомобільного транспорту є передумовою виникнення непланових простоїв автопарку, збільшення витрат на його експлуатацію та зниження продуктивності автомобільних перевезень [2,3]. Треба зауважити, що, використання спеціалізованого вантажного автомобільного транспорту характеризується підвищеними навантаженнями на основні системи та агрегати [3,4,7]. Відповідно, особливої актуальності набуває забезпечення працездатності та надійності в роботі таких складових автомобіля, як: силова установка, трансмісія, ходова частина, рульове керування, гальмівна система, електрична та електронна системи, а також інших відповідальні конструктивних елементів автомобіля [3,5]. Підтримання їх технічного стану на нормативному рівні є досить складною інженерною задачею та потребує системного виконання операцій з діагностики автомобіля, ремонтно-відновлювальних робіт з рахуванням конструктивних особливостей конкретного типу автомобільного транспорту.

Особливе значення у забезпеченні ефективності технічного сервісу має відповідність технологічного обладнання конструктивним особливостям автомобіля та характеру виконуваних ремонтних операцій. Для великовантажних автомобілів, зокрема КрАЗ-6322, проблема механізації ремонтних робіт набуває особливої актуальності через значні масогабаритні характеристики окремих агрегатів і деталей.

Сервісне обслуговування і ремонт вантажного спеціалізованого автомобіля КРАЗ-6322 має низку інженерних завдань підвищеної трудності,, що зумовлено досить значною вантажопідйомністю такого автомобіля, повним приводом, складними жорсткими умовами експлуатації та підвищеними вимогами щодо конструктивної міцності основних агрегатів.

При цьому можливо акцентувати основну увагу на наступних складових технічного сервісу даного автомобіля:

– Високі затрати праці щодо ремонтних робіт через значні габарити та масу автомобіля. Останнє що потребує застосування вантажопідіймального й спеціального ремонтного обладнання.

– Низка специфічних робіт щодо ремонту дизельного двигуна: діагностичні роботи паливної апаратури, перевірка справності систем мащення й охолодження, визначення технічного стану циліндро-поршневої групи та газорозподільного механізму.

– При виконанні ремонтно-обслуговуючих робіт автомобілів такого виду необхідно акцентувати додаткову увагу трансмісії, а саме: коробці зміни передач, роздавальній коробці, карданним валам, перевірці технічного стану мостів та редукторів. Останні вимоги спричинені роботою оскільки автомобіля на повному приводі та при значних навантаженнях.

– Ремонт ходової частини проводиться з відновленням та перевіркою технічного стану стану ресор, амортизаторів, коліс, підшипників, елементів мостів та рульового керування.

– Гальмівна система потребує ретельної діагностики та перевірки таких складових, як: пневматичний привід, компресор, повітряні ресивери, гальмівні механізми. Додатково гальмівна система перевіряється на герметичність пневмоліній.

– Електрообладнання діагностують із перевіркою акумуляторних батарей, генератора, стартера, систем освітлення, цілісності та справності щодо функціонування електричних кіл.

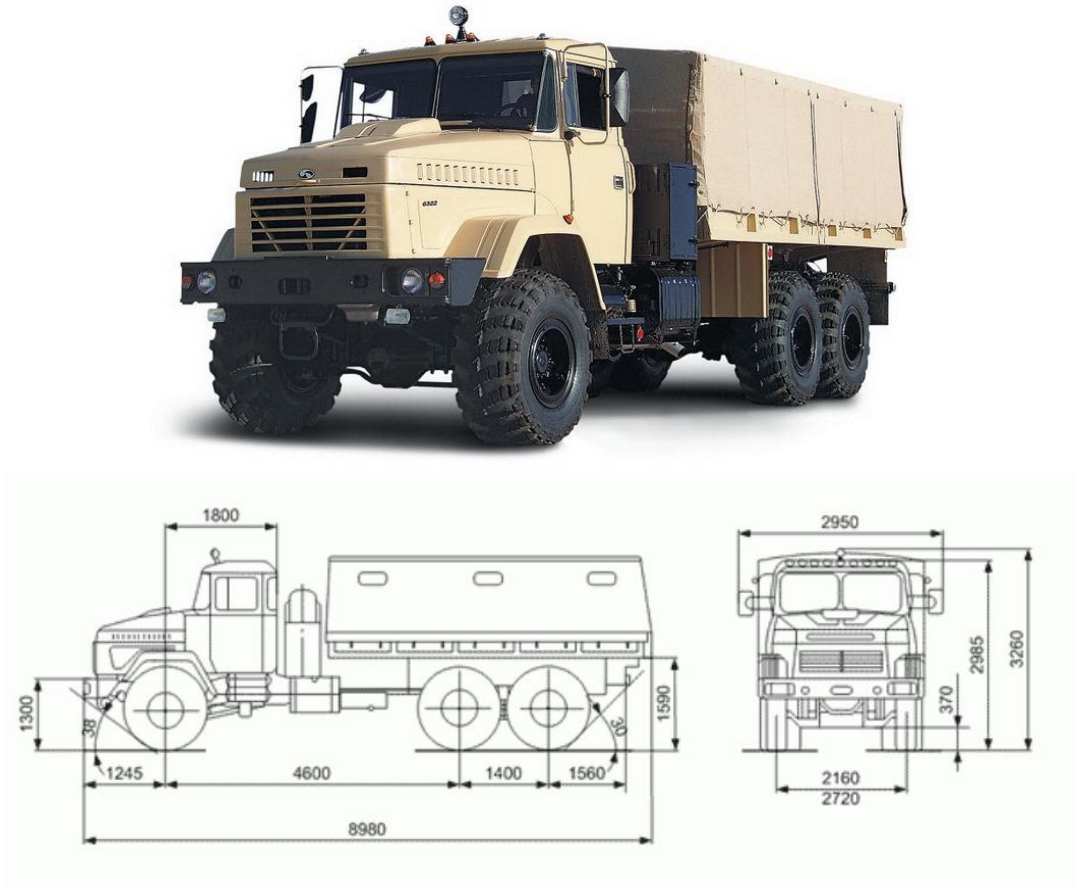


Рис. 1.1 – Загальний вигляд та габаритні розміри автомобіля КрАЗ-6322 (https://uk.wikipedia.org/wiki/КрАЗ-6322)

Основні технічні, технологічні, експлуатаційні характеристики вантажного автомобіля КрАЗ-6322, а також сферу його переважного застосування наведено в табл. 1.1.

Таблиця1.1 - Основні технічні характеристики автомобіля КрАЗ-6322 – основні характеристики (https://uk.wikipedia.org/wiki/КрАЗ-6322)

Загальні технічні характеристики	
Параметр	Значення
Колісна формула	6×6
Тип приводу	Повний, постійний
Тип кабіни	Капотна, 3-місна
Призначення	Вантажний автомобіль підвищеної прохідності
Виробник	КрАЗ (Україна)
Роки виробництва	з 1994 р.

Габаритні та масові параметри	
Параметр	Значення
Довжина	~8980 мм
Ширина	~2950 мм
Висота	~3260 мм
Колісна база	4600 мм
Кліренс (дорожній просвіт)	370 мм
Споряджена маса	~12 700 кг
Повна маса	до 23 000 кг
Вантажопідйомність	10 000–12 000 кг

Двигун та силова установка	
Параметр	Значення
Модель двигуна	ЯМЗ-238ДЕ2
Тип	Дизельний, V8, турбонаддув
Об’єм	14,86 л
Потужність	~330 к.с. (243 кВт)
Крутний момент	~1225 Н·м
Охолодження	рідинне
Екологічний стандарт	Euro-2

Трансмісія та ходова частина	
Параметр	Значення
Коробка передач	механічна
Кількість передач	4–16 (залежно від модифікації)
Роздавальна коробка	2-ступенева
Блокування диференціалів	міжосьове та міжколісне
Підвіска	залежна, ресорна
Гальма	барабанні
Шини	великого профілю, односкатні

Технологічні характеристики (конструктивні особливості)	
Параметр	Особливість
Конструкція	рамна, капотна
Платформа	металева бортова з тентом
Система підкачки шин	централізована (CTIS)
Підготовка двигуна	передпусковий підігрівач
Прохідність	високий рівень (бездоріжжя, болота, сніг)
Максимальний брід	до 1,2–1,5 м
Кути подолання підйому	до 58–60%

Експлуатаційні характеристики	
Параметр	Значення
Максимальна швидкість	80–85 км/год
Запас ходу	~500 км (залежно від навантаження)
Витрата палива	~35–40 л/100 км
Об’єм паливних баків	~500 л
Температурний діапазон роботи	−50°C … +50°C
Допустима маса причепа	до 30 000 кг (на шосе)

Експлуатаційні переваги (узагальнено)	
Перевага	Опис
Висока прохідність	6×6, великий кліренс
Надійність	проста рамна конструкція
Універсальність	військове/цивільне використання
Робота в екстремальних умовах	мороз, спека, бездоріжжя
Ремонтопридатність	легке обслуговування в польових умовах

Після проведення ремонтних та відновлюваних робіт щодо даних марок автомобілів, обов’язковими є контрольні регулювання, перевірка герметичності, випробування агрегатів і контрольний пробіг.

Висновки. Відповідно, ремонт спеціалізованого вантажного автомобіля підвищеної прохідності КРАЗ-6322 щодо технічних та організаційних складових, доцільно організовувати з використанням сучасної попередньої технічної діагностики, потім виконувати технологічні операції з дефектації вузлів і агрегатів; відновлення або заміни несправних деталей, вузлів і агрегатів автомобіля; проведення складальних та регулювальних робіт; виконання контрольної перевірки та випробування, що дає змогу зменшити тривалість простою автомобіля та підвищити надійність його подальшої експлуатації.

Підвищення ефективності ремонтного виробництва як сучасної домінуючої складової технічного сервісу спеціалізованого автомобільного транспорту

доцільно пов’язувати зі скороченням непродуктивних затрат часу, збільшенням коефіцієнта використання технологічного обладнання, оптимізацією матеріальних потоків та впровадженням енергоощадних технологій.

Список використаних джерел

1. В. П. Сахно, В. М. Поляков, І. С. Мурований, і С. М. Шарай, «До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності», ВМТ, вип. 10, вип. 2, с. 120–125, 2019.

2. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; Ред. А. М. Редзюка. – К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005, 400 с.

3. В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. В. Грицук, Т. В. Волкова, В. П. Кужель, і Ю. В. Волков, «Загальний підхід до формування моделей оцінювання технічного стану автомобіля в умовах експлуатації», ВМТ, вип. 9, вип. 1, с. 27–37, 2019.

4. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.

5. Біліченко В.В. Виробничо-технічна база підприємства автомобільного транспорту: Навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, С. О. Романюк, Є. В. Смирнов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 182 с.

6. Коробочка, О.М. Технологічне обладнання для ремонту автомобілів : навч. посіб. / О. М. Коробочка, О. Г. Чернета, Р. Г. Волощук. - Кам'янське : ДДТУ, 2017. - 215 с.

7. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств: навч. посіб. / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод, І.А. Дудніков, О.П. Ківшик. – Вінниця: Наукова книга, 2011. – 400 с.

УДК 629.33.004.67

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СКЛАДОВИХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ПРИКЛАДІ DAYUN CGC1331 З КМУ НІАВ X-CL 16 В-2

Лапенко Т. Г., Пітель А. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Якість виконання транспортних послуг значною мірою визначаються технічним станом автомобілів та рівнем організації їх технічного обслуговування (ТО) і ремонту. Особливо актуально це для спеціалізованих вантажних автомобілів, які експлуатуються в умовах підвищених навантажень та поєднують транспортні функції з виконанням навантажувально-розвантажувальних операцій. Тому створення сучасної

ремонтно-обслуговуючої бази, оснащеної відповідним технологічним обладнанням і пристосуваннями, є необхідною передумовою забезпечення їх експлуатаційної надійності.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність функціонування спеціалізованого вантажного автомобільного транспорту безпосередньо залежать від технічного стану рухомого складу, рівня його експлуатаційної надійності та готовності до виконання транспортної роботи [1,2]. Погіршення технічного стану автомобілів зумовлюють збільшення непродуктивних простоїв рухомого складу, підвищення витрат на його експлуатацію та зниження фактичної продуктивності [2,3]. При цьому використання спеціалізованого вантажного автомобільного транспорту характеризується підвищеними навантаженнями на основні системи та агрегати [3,4,7].

У зв'язку з цим особливого значення набуває забезпечення працездатності силової установки, трансмісії, ходової частини, рульового та гальмівного керування, електричних і електронних систем, а також інших відповідальних конструктивних елементів автомобіля [3,5]. Підтримання їх технічного стану на нормативному рівні потребує системного виконання діагностичних, профілактичних та ремонтно-відновлювальних заходів, організованих з урахуванням конструктивних особливостей конкретного типу рухомого складу.

Метою досліджень є удосконалення конструктивно-технологічного забезпечення технічного обслуговування і ремонту вантажних автомобілів типу DAYUN CGC1331 шляхом обґрунтування організаційних рішень, технологічних операцій та відповідного спеціалізованого обладнання.

Результати досліджень. Базовим об'єктом технічного дослідження обрано спеціалізований вантажний автомобіль DAYUN CGC1331, обладнаний краном-маніпулятором HIAB X-CL 16 B-2. (табл.1).Такий автомобіль поєднує функції перевезення вантажів і механізованого виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, що зумовлює необхідність комплексного підходу до його технічного сервісу.

Таблиця 1 - Основні технічні характеристики спеціалізованого автомобіля DAYUN CGC1331 з КМУ HIAB X-CL 16 B-2 (https://alfateks.com.ua/)

Базове шасі	DAYUN CGC1331
Колісна формула	6x4
Тип кузова	бортовий з КМУ
Сталь кузова	S255 або еквівалент
Габаритні розміри бортового кузову, мм	6100 x 2500 x 600
Борта кузова	стальні або алюмінієві (на вибір клієнта)
Настил кузова	бакелітова фанера (вологостійка) товщиною 24 мм
Фарбування кузова	імпортною, зносостійкою фарбою

Колір кузова	на вибір клієнта
Модель КМУ	HIAB X-CL 16 B-2 (Швеція)
Вантажний момент, тм	14,3
Вантажопідйомність на мінімальному вильоті	2,9 м – 5 000 кг
Вантажопідйомність на максимальному вильоті	8,1 м – 1 750 кг
Повна маса, кг	33000
Вантажопідйомність, кг	20900
Двигун	Weichai WP8.340E51
Клас екологічності	Євро-5
Об’єм двигуна, л	7,8
Потужність двигуна, кВт (к.с.)	245 (333)
Максимальний крутний момент, Нм	1400 при 1200-1600 об/хв.
КПП	Fast Gear 10JSD140TB
Тип КПП	механічна, синхронізована
Кількість передач, вперед / назад	10 / 2
Рульове керування	з гідропідсилювачем
Гальмівна система	барабанного типу
Антиблокувальна система ABS	+
Електронна гальмівна система EBS	+
Електронний контроль стійкості ESC	+
Паливний бак, л	400
Виконання паливного баку	алюміній
Шини	315/80R22.5
Тип кабіни	електрооцинкована металева кабіна з додатковою теплоізоляцією, 2-х містна, зі спальним місцем

Технічні характеристики крана КМУ HIAB X-CL 16 B-2

Вантажний момент	тм	14,3
Виліт стріли – вантажопідйомність	м – кг	2,9 – 5 000 4,4 – 3 300 6,2 – 2 300 8,1 – 1 750
Максимальне висування (гідравлічне)	м	8,4
Максимальна висота підйому (рівень монтажу)	м	10,8
Кут повороту стріли	град.	415
Висота в складеному положенні	мм	2238
Ширина в складеному положенні	мм	2440
Вага крана-маніпулятора (без систем стабілізації)	кг	1540

Організаційно-технологічна структура автомобільного сервісу доцільно повинна охоплювати такі взаємопов'язані складові:

– виробничі дільниці та станції технічного обслуговування, на яких виконуються комплекси операцій ТО і ремонту;

– виробництва з виготовлення та відновлення деталей і складових частин автомобілів;

– систему логістично-складського забезпечення запасними частинами, матеріалами та комплектувальними виробами;

– інформаційне забезпечення процесів технічного сервісу та просування ремонтно-обслуговуючих послуг;

– систему професійної підготовки та підвищення кваліфікації персоналу.

Тобто, ефективність технічного сервісу визначається не окремою технологічною операцією, а узгодженістю виробничих, організаційних, матеріально-технічних та цифрових процесів.

Раціональна організація ремонту автомобільних агрегатів передбачає послідовне виконання комплексу технологічних операцій. Однією з первинних операцій є очищення та миття агрегатів і деталей. Якісне очищення є не лише санітарно-технологічною операцією, а й необхідною передумовою достовірного оцінювання технічного стану деталей та якісного виконання подальших ремонтних операцій.

Наступною значущою складовою є розбирання агрегатів. Для двигунів та інших важких складальних одиниць доцільним є використання спеціальних технологічних візків, наземних або естакадних конвеєрів.

За результатами дефектування приймається інженерно-технічне рішення щодо одного з основних варіантів: подальше використання деталі без відновлення; використання у комплекті з новими або відновленими деталями; виконання відновлювального ремонту; передавання для спеціалізованого відновлення; остаточна вибраковка та заміна новою деталлю.

Завершальним етапом ремонтного процесу є комплектування та складання відновлених агрегатів. Організація цих операцій повинна забезпечувати ритмічність виробництва, своєчасне надходження деталей і відповідність фактичної комплектації встановленій номенклатурі.

Висновки

1. Організаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування і ремонту спеціалізованого вантажного автомобільного транспорту є складною багаторівневою виробничою системою. Ефективність такої системи визначається узгодженістю організаційних, технологічних, матеріально-технічних і логістичних складових.

2. Для автомобілів DAYUN CGC1331 з КМУ HIAB X-CL 16 B-2 необхідно враховувати не лише особливості базового шасі та силового агрегату, а й специфіку експлуатації крановo-маніпуляторного обладнання. Таке обладнання, а саме його працездатність безпосередньо впливає на функціональні можливості спеціалізованого автомобіля.

3. Організація ремонтно-сервісного підприємства повинна передбачати раціональне розміщення виробничих підрозділів, ефективне складське та логістичне забезпечення, спеціалізацію ремонтних робіт, сучасну діагностіку та високий професійний рівень персоналу.

Список використаних джерел

1. В. П. Сахно, В. М. Поляков, І. С. Мурований, і С. М. Шарай, «До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності», ВМТ, вип. 10, вип. 2, с. 120–125, 2019.

2. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; Ред. А. М. Редзюка. – К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005, 400 с.

3. В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. В. Грицук, Т. В. Волкова, В. П. Кужель, і Ю. В. Волков, «Загальний підхід до формування моделей оцінювання технічного стану автомобіля в умовах експлуатації», ВМТ, вип. 9, вип. 1, с. 27–37, 2019.

4. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.

5. Біліченко В.В. Виробничо-технічна база підприємства автомобільного транспорту: Навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, С. О. Романюк, Є. В. Смирнов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 182 с.

6. Коробочка, О.М. Технологічне обладнання для ремонту автомобілів : навч. посіб. / О. М. Коробочка, О. Г. Чернета, Р. Г. Волощук. - Кам'янське : ДДТУ, 2017. - 215 с.

7. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств: навч. посіб. / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод, І.А. Дудніков, О.П. Ківшик. – Вінниця: Наукова книга, 2011. – 400 с.

УДК 629.113:629.33.004.67

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА НАПРЯМИ ЙОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ

Ляшенко С.В., Картавцев М.С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Ефективність технічної експлуатації автотранспортних засобів значною мірою визначається рівнем організації їх технічного обслуговування (ТО). Своєчасне та якісне виконання профілактичних, діагностичних і регламентних операцій забезпечує підтримання працездатності автомобілів, підвищує їх технічну готовність,

сприяє зменшенню простоїв і витрат на експлуатацію та запобігає передчасному виходу з ладу основних агрегатів. Водночас традиційна організація ТО, що переважно ґрунтується на нормативних інтервалах пробігу або часу, не завжди враховує фактичний технічний стан автомобіля та реальні умови його експлуатації. Це зумовлює необхідність пошуку сучасних організаційно-технологічних рішень щодо підвищення ефективності системи ТО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до технічної експлуатації автотранспортних засобів передбачають поступове доповнення планово-попереджувальної системи елементами технічного діагностування та обслуговування за фактичним станом [1]. Використання електронних систем керування, бортових засобів контролю, комп'ютерної діагностики та інформаційних технологій створює можливості для своєчасного виявлення несправностей і прогнозування технічного стану агрегатів [2, 3].

Разом з тим практичне застосування зазначених підходів на автотранспортних підприємствах залишається недостатнім. Основними стримувальними чинниками є обмежене оснащення виробничих підрозділів сучасним діагностичним обладнанням, недостатній рівень автоматизації планування та обліку ТО, нерівномірне завантаження виробничих постів, недостатня механізація трудомістких операцій, проблеми із забезпеченням запасними частинами та недостатня підготовленість персоналу до роботи із сучасними електронними системами автомобілів [4, 5].

Мета. Метою роботи є Метою дослідження є аналіз сучасного стану організації технічного обслуговування автотранспортних засобів, визначення основних недоліків існуючих систем ТО та обґрунтування організаційно-технологічних напрямів їх удосконалення на основі технічної діагностики, цифровізації та оптимізації виробничих процесів.

Результати досліджень. Проведений аналіз показав, що одним із основних недоліків традиційної системи ТО є переважання регламентного принципу обслуговування, за якого обсяг і періодичність робіт визначаються нормативними значеннями пробігу або часу експлуатації. Такий підхід не забезпечує достатньої диференціації технічного впливу залежно від фактичного стану конкретного транспортного засобу, характеру навантаження, дорожніх і кліматичних умов та інтенсивності експлуатації.

Для підвищення ефективності ТО доцільно застосовувати комбіновану систему, яка поєднує планово-попереджувальні заходи з періодичним діагностуванням технічного стану основних агрегатів. Результати діагностики мають використовуватися для визначення фактичного рівня працездатності, уточнення обсягу необхідних робіт та прогнозування можливих відмов. Це дозволяє перейти від переважно реактивного усунення несправностей до їх попередження на ранніх стадіях розвитку.

Важливим напрямом удосконалення є цифровізація управління технічним обслуговуванням. Доцільно створювати електронну історію кожного автомобіля, у якій накопичуються дані про пробіг, результати діагностування,

виконані операції, замінені деталі, виявлені несправності та витрати на обслуговування. На основі цієї інформації можна автоматизувати формування графіків ТО, контроль періодичності робіт, планування потреби в запасних частинах і аналіз експлуатаційних витрат.

Підвищення ефективності виробничої системи також потребує оптимізації роботи постів ТО. Доцільно здійснювати раціональний розподіл автомобілів між постами, нормування тривалості технологічних операцій, попереднє комплектування необхідних матеріалів і запасних частин, а також застосовувати сучасні засоби механізації. Використання попереднього планування надходження автомобілів на обслуговування сприятиме рівномірнішому завантаженню виробничих потужностей та скороченню непродуктивних простоїв.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у створенні або модернізації автопрофілакторіїв, функціями яких мають бути проведення регламентних профілактичних робіт, первинне діагностування, раннє виявлення несправностей, контроль якості виконаного ТО та формування рекомендацій щодо подальшої експлуатації транспортних засобів. Водночас ефективність функціонування таких підрозділів значною мірою залежить від рівня професійної підготовки персоналу. Тому необхідно забезпечити систематичне підвищення кваліфікації працівників у сфері комп'ютерної діагностики, електронних систем автомобілів та використання сучасного діагностичного обладнання.

Висновки. Удосконалення системи технічного обслуговування автотранспортних засобів має ґрунтуватися на поєднанні планово-попереджувального обслуговування з діагностуванням фактичного технічного стану автомобілів. Основними напрямами підвищення ефективності є цифровізація обліку й планування ТО, прогнозування технічних несправностей, оптимізація завантаження виробничих постів, механізація трудомістких операцій, удосконалення системи забезпечення запасними частинами, розвиток автопрофілакторіїв та підвищення кваліфікації персоналу. Комплексна реалізація зазначених заходів створює передумови для підвищення технічної готовності автопарку, скорочення тривалості простоїв, раціонального використання матеріальних і трудових ресурсів та зниження витрат на технічну експлуатацію автотранспортних засобів.

Список використаних джерел

1. Кисіль О. Експлуатація машин та обладнання. Електронний посібник [Електронний ресурс] : елект. посіб. для студ. тех. вузів. О. Кисіль, та ін. Київ : ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти», 2025. 382 с. https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/Ekspluatacyiy%20mahun%20i%20obladnanniy/Golovna/Golovna.htm.

2. Захара І. Технічна експлуатація автомобілів [Текст] : *метод. вказ. для сам. роботи студ. І. Захара, Ф. Козак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ*, 2024. – 75 с.

3. Технічна експлуатація автомобілів [Текст]: *Навчальний посібник. В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк. Луцьк: Луцький НТУ*, 2018. 473 с.

4. Карпенко В. Технологічне проектування автотранспортних підприємств і станцій технічного обслуговування. *Методичні вказівки до виконання курсового проекту з планування станцій технічного обслуговування автомобілів для студентів спеціальності «Автомобілі та автомобільне господарство» усіх форм навчання /Уклад. В. Карпенко, В. Павлюк, В. Придюк. Луцьк: ЛНТУ*, 2009. 42 с..

5. Лудченко, О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління: *підручник. О. А. Лудченко. К.: Знання-Прес*, 2004. 478 с..

УДК 656.1:614.8

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Ляшенко С.В., Ярошенко О.О.
Полтавський державний аграрний університет

Проблема забезпечення безпеки дорожнього руху залишається одним із важливих завдань транспортної системи. Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) призводять до загибелі та травмування людей, пошкодження транспортних засобів і майна, а також зумовлюють значні соціально-економічні втрати. Рівень аварійності формується під впливом комплексу чинників, серед яких особливе місце займають поведінка учасників дорожнього руху, технічний стан транспортних засобів, дорожні та погодні умови.

Значна частина ДТП пов’язана з порушеннями Правил дорожнього руху водіями та пішоходами. До найбільш поширених факторів ризику належать перевищення безпечної швидкості, неправильне виконання маневрів, порушення правил проїзду перехресть і пішохідних переходів, виїзд на смугу зустрічного руху, керування транспортним засобом у стані алкогольного або наркотичного сп’яніння, а також неуважність учасників руху.

У зв’язку з цим актуальним є визначення основних причин виникнення ДТП та обґрунтування комплексу заходів, спрямованих на зменшення аварійності й підвищення рівня безпеки дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження причин ДТП свідчать, що виникнення аварійних ситуацій найчастіше є наслідком поєднання декількох несприятливих факторів. Важливу роль відіграють швидкісний режим, дотримання дистанції та інтервалу, правильність виконання маневрів, дотримання черговості проїзду перехресть і надання переваги пішоходам [1, 2].

Окремою групою ризику є ДТП за участю пішоходів. Небезпека виникає як унаслідок порушення водіями вимог щодо надання переваги пішоходам, так і через неуважність самих пішоходів, перехід проїзної частини у невстановлених місцях, ігнорування сигналів світлофора або використання мобільних пристроїв під час переходу дороги [3].

Особливої уваги потребує забезпечення безпеки дітей, осіб похилого віку та людей з інвалідністю. Через вікові або фізіологічні особливості вони можуть повільніше оцінювати дорожню ситуацію, що потребує від водіїв підвищеної обережності та своєчасного зниження швидкості [4].

Важливим фактором запобігання ДТП є дотримання всіма учасниками дорожнього руху вимог Правил дорожнього руху. Безпека залежить не лише від індивідуальної дисциплінованості водія чи пішохода, а й від прогнозованості поведінки інших учасників руху [5].

Мета. Метою досліджень є систематизація основних причин виникнення дорожньо-транспортних пригод та обґрунтування перспективних напрямів підвищення безпеки дорожнього руху шляхом удосконалення поведінки його учасників, підвищення рівня контролю за дотриманням Правил дорожнього руху та формування безпечної транспортної культури.

Результати досліджень. Передумовою для оцінювання динаміки аварійності та визначення основних тенденцій у сфері безпеки дорожнього руху є аналіз кількісних показників дорожньо-транспортних пригод із загиблими та травмованими особами у Полтавському регіоні за відповідні періоди 2025-2026 років, наведений у таблиці 1 [6].

Таблиця 1. – Порівняльна характеристика дорожньо-транспортних пригод із загиблими та травмованими у Полтавському регіоні за січень-серпень 2025-2026 років.

	ДТП з загиблими та/або травмованими								
	усього			загинуло			травмовано		
	2025	2026	%	2025	2026	%	2025	2026	%
Полтавська	622	659	5,9	91	62	-31,9	782	835	6,8

За наведеними даними, у січні-серпні 2026 року порівняно з аналогічним періодом 2025 року кількість ДТП із загиблими та/або травмованими зросла на 5,9 % - з 622 до 659 випадків. Водночас кількість загиблих зменшилася на 31,9 % (з 91 до 62 осіб), тоді як кількість травмованих зросла на 6,8 % - з 782 до 835 осіб. Загалом це свідчить про зростання кількості аварій та травмованих за одночасного зниження рівня смертельних наслідків ДТП.

Аналіз факторів виникнення ДТП дозволяє виділити декілька основних груп причин: порушення правил дорожнього руху учасниками, недотримання швидкісного режиму, помилки під час маневрування, порушення правил проїзду перехресть і пішохідних переходів, керування транспортними засобами у стані

сп’яніння, недостатня увага до дорожньої обстановки, а також несприятливі дорожні та погодні умови.

Одним із найбільш значущих факторів ризику є швидкість руху. Зі збільшенням швидкості скорочується час, доступний водієві для оцінювання дорожньої ситуації та реагування на небезпеку, а також збільшується гальмівний шлях. Тому дотримання встановлених обмежень швидкості та вибір безпечної швидкості відповідно до конкретних дорожніх умов є одним із базових заходів профілактики аварійності.

Значна увага повинна приділятися безпеці на перехрестях та пішохідних переходах. Під час наближення до нерегульованого пішохідного переходу водій повинен завчасно оцінити дорожню обстановку, зменшити швидкість і бути готовим надати перевагу пішоходам. На регульованих перехрестях необхідно враховувати сигнали світлофора та завершення маневру іншими учасниками руху.

Водночас забезпечення безпеки пішоходів передбачає їхню відповідальну поведінку. Під час переходу проїзної частини необхідно користуватися визначеними місцями переходу, дотримуватися сигналів світлофора, оцінювати дорожню ситуацію та не допускати дій, які можуть створити небезпеку для себе або інших учасників руху. Використання мобільних пристроїв, що відволікають увагу, також може підвищувати ризик виникнення небезпечної ситуації.

Особливої уваги потребує взаємодія водіїв із найбільш уразливими учасниками дорожнього руху – дітьми, особами похилого віку та людьми з інвалідністю. Водій повинен завчасно прогнозувати можливість їх появи на проїзній частині, зменшувати швидкість і забезпечувати достатній час та простір для безпечного переходу дороги.

Важливим напрямом профілактики ДТП є недопущення керування транспортними засобами у стані алкогольного, наркотичного чи іншого сп’яніння. Такий стан негативно впливає на швидкість реакції, здатність адекватно оцінювати дорожню ситуацію та приймати своєчасні рішення.

Для підвищення рівня безпеки дорожнього руху доцільно застосовувати комплексний підхід, який передбачає підвищення транспортної дисципліни, удосконалення системи підготовки водіїв, проведення інформаційно-профілактичних заходів, покращення організації дорожнього руху та посилення контролю за дотриманням установлених правил.

Особливе значення має формування принципу взаємної відповідальності учасників дорожнього руху. Водій повинен прогнозувати можливі помилки інших учасників, а пішохід – враховувати особливості руху транспортних засобів та не створювати небезпечних ситуацій. Такий підхід сприяє формуванню передбачуваної поведінки на дорозі та зменшенню ймовірності виникнення конфліктних ситуацій.

Висновки. За наведеними даними, у січні-серпні 2026 року порівняно з аналогічним періодом 2025 року кількість ДТП із загиблими та/або травмованими зросла на 5,9 % - з 622 до 659 випадків. Водночас кількість

загиблих зменшилася на 31,9 % - з 91 до 62 осіб, тоді як кількість травмованих зросла на 6,8 % - з 782 до 835 осіб. Отже, спостерігається зростання загальної кількості ДТП та травмованих осіб за одночасного зниження кількості загиблих.

Основними чинниками виникнення ДТП є порушення Правил дорожнього руху, невідповідність швидкості конкретним дорожнім умовам, помилки під час маневрування, порушення правил проїзду перехресть і пішохідних переходів, керування транспортними засобами у стані сп'яніння та недостатня увага учасників дорожнього руху.

Підвищення рівня безпеки дорожнього руху потребує комплексного поєднання профілактичних, організаційних та освітніх заходів. Особливе значення мають дотримання безпечного швидкісного режиму, підвищення уважності водіїв і пішоходів, забезпечення безпечного проходження пішохідних переходів та врахування особливостей поведінки вразливих учасників дорожнього руху.

Ефективне зниження аварійності можливе за умови системної взаємодії учасників дорожнього руху, органів, відповідальних за організацію та контроль безпеки руху, а також закладів, що здійснюють підготовку водіїв. Формування культури безпечної поведінки та неухильне дотримання вимог Правил дорожнього руху є важливими передумовами зменшення кількості ДТП, травматизму та тяжкості їх наслідків.

Список використаних джерел

1. Туренко А.М. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП. *Підручник для вищих навчальних закладів. Х.: ХНАДУ*, 2012. 320 с.

2. Корнієнко М. В., Берназ П. В., Афонін Д. С. Оформлення дорожньо-транспортних пригод : *навч.-метод. посіб. Одеса : Одеський державний університет внутрішніх справ*, 2021. 129 с.

3. Запорожцева ОВ, Запорожцев АГ Аналіз основних причин дорожньо-транспортних пригод та шляхи їх попередження. *Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 22 травня 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025*. С. 84-87.

4. Парасюк В. М., Демків Р. Я., Когут В. М. Безпека дорожнього руху : *навчальний посібник. Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ*, 2022. 340 с.

5. Правила дорожнього руху України 2025 з коментарями та ілюстраціями. Навчальний посібник. Видання 5-е. Виправлене та доповнене. *Офіційне видання. Узгоджено з Головним сервісним центром МВС України (лист №31/13713-2024 від 29.05.2024). Харків: ТОВ «Видавництво «Моноліт»»*. 2025. 340 с.

6. Патрульна поліція України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://patrol.police.gov.ua

УДК 621.43.019.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗНОШУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Ляшенко С.В., Хохола Т.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Надійність і довговічність автомобільних двигунів значною мірою залежать від технічного стану деталей циліндропоршневої групи, серед яких особливе місце посідають гільзи циліндрів. Вони забезпечують напрямний рух поршня, формують робочу поверхню циліндра та сприймають значні механічні й теплові навантаження, що виникають під час згоряння паливоповітряної суміші. У процесі роботи двигуна внутрішня поверхня гільзи зазнає дії високих температур, змінних газових тисків, бокових сил від поршня та тертя за участю поршневих кілець.

Особливості кінематики кривошипно-шатунного механізму зумовлюють циклічне змінювання швидкості руху поршня від нуля в мертвих точках до максимальних значень, які за номінальних режимів роботи двигуна можуть становити близько 25 м/с. За таких умов поверхневі шари гільзи піддаються інтенсивному механічному навантаженню, що спричиняє поступову зміну геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей робочої поверхні.

Погіршення стану гільз циліндрів призводить до збільшення зазорів у спряженні деталей, порушення герметичності камери згоряння, зростання витрати мастильних матеріалів і погіршення експлуатаційних характеристик двигуна. Тому встановлення закономірностей зношування гільз та визначення основних чинників, що впливають на інтенсивність руйнування їхньої робочої поверхні, є важливим завданням технічної експлуатації автомобільних двигунів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження зношування деталей машин свідчать про складний характер руйнування поверхонь тертя під впливом механічних навантажень, температурних коливань, хімічно активного середовища та забруднень. Для гільз циліндрів автомобільних двигунів особливого значення набуває взаємодія перелічених чинників, оскільки робоча поверхня функціонує в умовах обмеженого мащення, циклічного навантаження та постійного контакту з продуктами згоряння (рис. 1.).

Одним із поширених механізмів руйнування поверхонь гільз є абразивне зношування, яке виникає внаслідок проникнення твердих частинок у зону контакту та їхньої взаємодії з поверхнями тертя. Такі частинки можуть потрапляти до двигуна разом із повітрям, паливом або мастильним матеріалом, а також утворюватися внаслідок зношування деталей. Їхня присутність сприяє утворенню подряпин, борозен і локальних пошкоджень, що поступово змінюють мікрогеометрію поверхні циліндра [1].

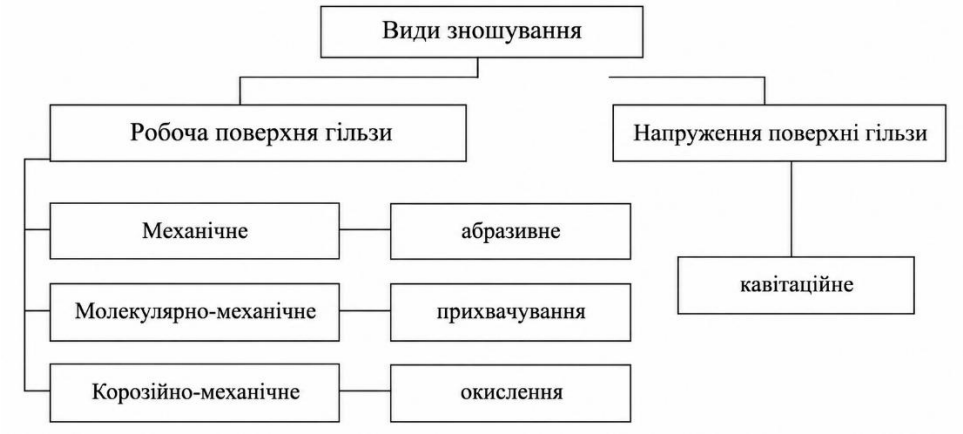


Рис. 1. Види зношування гільз циліндрів

Водночас експлуатаційний стан гільз визначається не лише абразивною дією. За певних температурно-вологісних умов і наявності агресивних продуктів згоряння можуть виникати корозійні пошкодження. Недостатня товщина мастильної плівки, порушення режиму мащення та високі контактні навантаження створюють передумови для схоплювання поверхонь тертя, локального перенесення матеріалу й утворення задирів.

Таким чином, пошкодження робочої поверхні гільз циліндрів переважно мають комплексний характер. Інтенсивність окремих механізмів зношування залежить від конструктивних особливостей двигуна, якості фільтрації повітря та мастильного матеріалу, температурного режиму, навантаження, частоти обертання колінчастого вала й технічного стану систем мащення та охолодження. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу характерних ознак зношування для обґрунтування заходів щодо підвищення довговічності деталей циліндропоршневої групи.

Мета. Метою дослідження є встановлення характерних особливостей і основних механізмів зношування гільз циліндрів автомобільних двигунів, а також визначення впливу експлуатаційних умов на формування пошкоджень їхньої робочої поверхні.

Результати досліджень. Гільза циліндра є одним із найбільш навантажених елементів циліндропоршневої групи, оскільки одночасно сприймає тепловий вплив продуктів згоряння, змінний тиск газів і механічну дію деталей, що перебувають із нею в контакті. У камері згоряння температура газів під час робочого процесу може досягати 1500-2500 °С, тоді як фактична температура металу гільзи є нижчою та залежить від режиму роботи двигуна й ефективності системи охолодження [1,2].

Додаткове навантаження виникає внаслідок дії бокової сили поршня, яка зумовлена геометрією кривошипно-шатунного механізму та змінюється протягом робочого циклу. Періодичне змінювання напрямку руху поршня, швидкості ковзання та контактного тиску спричиняє нерівномірне навантаження на поверхню гільзи. За таких обставин зношування може відрізнятися за висотою циліндра та в напрямках, пов'язаних із дією бокових сил.

Одним із провідних механізмів пошкодження робочої поверхні є абразивне зношування. Воно проявляється утворенням подряпин і поздовжніх борозен, які виникають під час переміщення твердих частинок між поверхнями гільзи, поршневих кілець і мастильної плівки. Розвиток цього процесу залежить від чистоти повітря, стану фільтрувальних елементів, якості мастильного матеріалу та ефективності його очищення. Накопичення абразивних частинок у зоні тертя сприяє прискореному видаленню матеріалу й порушенню початкової мікрогеометрії поверхні.

Корозійне зношування формується внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії матеріалу гільзи з агресивними компонентами робочого середовища. Його прояви можуть посилюватися за несприятливих температурних умов, під час роботи двигуна на коротких режимах і за утворення конденсату на внутрішніх поверхнях. Корозійні пошкодження послаблюють поверхневий шар і можуть сприяти подальшому розвитку механічного зношування.

Іншим характерним видом пошкодження є схоплювання поверхонь тертя, яке виникає за порушення умов мащення та безпосереднього контакту мікронерівностей. За підвищених контактних навантажень і недостатньої товщини мастильної плівки можливі локальне зчеплення матеріалів, їхнє перенесення та утворення задирів. Такі пошкодження погіршують умови переміщення поршня й можуть спричиняти подальше прискорення руйнування поверхні гільзи.

Аналіз характерних механізмів свідчить, що в реальних умовах експлуатації зазначені процеси зазвичай не відбуваються ізольовано. Абразивна дія частинок змінює стан поверхні, корозійні процеси послаблюють її поверхневий шар, а порушення мащення створює передумови для схоплювання та утворення задирів. Співвідношення цих механізмів визначається режимом експлуатації, якістю технічного обслуговування та загальним станом систем двигуна.

Отже, оцінювання технічного стану гільз циліндрів доцільно проводити з урахуванням не лише величини зношування, а й характеру пошкоджень, їхнього розташування та можливих причин виникнення [3-5]. Такий підхід створює основу для своєчасного виявлення дефектів, визначення потреби в ремонті й розроблення заходів щодо підвищення ресурсу циліндропоршневої групи.

Висновки. Гільзи циліндрів автомобільних двигунів працюють в умовах одночасної дії високих температур, змінного газового тиску, бокових сил поршня та циклічного тертя. Сукупність цих чинників визначає складний характер зміни технічного стану робочої поверхні.

Основними механізмами пошкодження гільз у процесі експлуатації є абразивне та корозійне зношування, а також схоплювання поверхонь тертя. Їхній прояв залежить від умов мащення, чистоти робочого середовища, температурного режиму й навантаження двигуна.

Встановлено, що механізми зношування гільз мають комплексний характер: абразивна дія спричиняє утворення подряпин і борозен, корозійні

процеси змінюють стан поверхневого шару, а порушення мащення може призводити до локального схоплювання та утворення задирів.

Для підвищення довговічності гільз циліндрів необхідно забезпечувати належну фільтрацію повітря, своєчасну заміну мастильного матеріалу, справність систем мащення й охолодження та дотримання рекомендованих режимів експлуатації двигуна.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне оцінювання нерівномірності зношування гільз за висотою та колом циліндра, визначення взаємозв'язку між характером поверхневих пошкоджень і напрацюванням двигуна, а також обґрунтування ефективних методів діагностування та відновлення деталей циліндропоршневої групи.

Список використаних джерел

1. Хомлюк В.О., Ляшенко С.В.. Дослідження характеру зношування гільз циліндрів тракторних двигунів. *Техніка те технології в агропромисловому виробництві (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету): матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.*, 7-8 жовтня 2021 р. Полтава: ПДАУ, 2021. 200 с. (р. 96).

2. Денисенко М.І.. Фізичні основи процесу абразивного зношування конструкційних матеріалів. *Матеріали IX-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, вип. 1.–Кіровоград*: КНТУ, 2013.–240 с., 175.

3. Кіндрацький Б., Дмитрів І., Пельо Р. «Технічна експлуатації автомобілів» *Лабораторний практикум. Інституту механічної інженерії та транспорту Львівська Політехніка*. 2023 200 с.

4. Захара І. Технічна експлуатація автомобілів [Текст] : *метод. вказ. для сам. роботи студ / І. Захара, Ф. Козак. – Івано-Франківськ* : ІФНТУНГ, 2024. – 75 с.

5. Кисіль О. Експлуатація машин та обладнання. Електронний посібник [Електронний ресурс] : *елект. посіб. для студ. тех. вузів. / О. Кисіль, та ін. Київ: ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти»*, 2025. 382 с. https://surl.lt/quvcor

УДК 621.787:629.113

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ БЕЗЦЕНТРОВОГО АЛМАЗНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Мальченко Д. Д., Горбенко О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Довговічність деталей автомобільних двигунів значною мірою залежить від якості робочих поверхонь, їхньої шорсткості, твердості та опору зношуванню. Для циліндричних деталей, що працюють в умовах тертя ковзання або кочення, важливим завданням є забезпечення стабільної геометрії та необхідних властивостей поверхневого шару після фінішної обробки.

Одним із перспективних методів поліпшення якості поверхні є алмазне вигладжування, яке ґрунтується на пластичному деформуванні мікронерівностей без зняття стружки. Для обробки коротких циліндричних деталей доцільно розглядати безцентрову технологічну схему, у якій заготовка спирається на ролики та приводиться в обертання ведучим кругом. Така схема дає змогу зменшити допоміжний час на встановлення й базування деталі та створює передумови для механізації подачі.

Аналіз останніх досліджень. Алмазне вигладжування належить до методів фінішної обробки поверхневим пластичним деформуванням. Під дією контактного навантаження вершини мікронерівностей пластично деформуються, а матеріал переміщується в напрямку западин профілю. Унаслідок цього може зменшуватися шорсткість поверхні, підвищуватися мікротвердість і формуватися стискальний залишковий напружений стан. Водночас результат залежить від матеріалу деталі, початкової якості поверхні, притискного зусилля, подачі, швидкості та умов мащення [1; 2].

Дослідження алмазного вигладжування загартованої сталі підтверджують необхідність узгодженого вибору технологічних параметрів, оскільки зміна сили, швидкості та подачі одночасно впливає на шорсткість, мікротвердість і залишкові напруження [2]. Окрему увагу приділяють конструкції інструмента й стабільності контакту з оброблюваною поверхнею [1].

Мета досліджень. Метою роботи є обґрунтування технологічної схеми безцентрового алмазного вигладжування циліндричних деталей автомобільних двигунів і визначення основних параметрів процесу, необхідних для забезпечення стабільного обертання, поздовжньої подачі та якісного пластичного деформування поверхневого шару.

Результати досліджень. Запропонована технологічна схема передбачає розміщення деталі на опорних роликах, її обертання за допомогою ведучого круга та контакт із алмазним наконечником, який створює необхідне притискне зусилля. До складу системи також входять механізм регулювання сили вигладжування та система подавання змащувально-охолоджувальної рідини.

Обертання ведучого круга забезпечує обертальний рух деталі завдяки силам тертя в зоні контакту. Невеликий розворот осі ведучого круга відносно осі деталі створює складову швидкості, що забезпечує її поздовжнє переміщення. У результаті реалізується безперервна обробка зовнішньої циліндричної поверхні. Величина поздовжньої подачі залежить від кута розвороту круга та умов контакту; надмірне збільшення цього кута може порушувати стабільність руху заготовки.

За вихідними проєктними параметрами, для деталей діаметром 40–60 мм передбачено подачу 0,05–0,20 мм/об, швидкість обробки 120–140 м/хв і частоту обертання деталі 760–890 $хв^{-1}$. Перед практичним застосуванням ці параметри необхідно узгодити між собою з урахуванням діаметра заготовки, кінематики ведучого круга та характеристик приводу.

Важливим параметром є сила вигладжування, яку в проєктній схемі передбачено регулювати в межах 30–300 Н. Її вибір має забезпечувати пластичне деформування мікронерівностей без пошкодження поверхні та недопустимої зміни геометрії деталі. Змащувально-охолоджувальна рідина зменшує тертя в зоні контакту, сприяє стабілізації температурного режиму та знижує зношування інструмента.

Для оцінювання ефективності технологічної схеми запропоновано контролювати шорсткість поверхні, мікротвердість, глибину зміцненого шару, відхилення від круглості та циліндричності, а також зносостійкість після обробки. У вихідних розрахункових даних передбачено досягнення шорсткості Ra=0,08–0,32 мкм і формування зміцненого шару завглибшки 0,02–0,20 мм.

Таким чином, безцентрова схема поєднує функції базування, обертання та поздовжнього переміщення деталі й може бути основою для розроблення спеціалізованої установки. Її практична ефективність залежатиме від стабільності кінематичного контакту, точності регулювання притискного зусилля та узгодженості режимів обробки.

Висновки. Безцентрове алмазне вигладжування є перспективним способом фінішної обробки зовнішніх циліндричних поверхонь деталей автомобільних двигунів. Запропонована схема з ведучим кругом, опорними роликами й алмазним наконечником дає змогу реалізувати обертання та поздовжню подачу деталі без закріплення в центрах або патроні. Для забезпечення стабільності процесу необхідно узгодити частоту обертання, подачу, притискне зусилля та умови мащення з геометричними параметрами й матеріалом деталі.

Список використаних джерел

1. A critical review of tool design in burnishing process. *Tribology International*. 2022. Vol. 174. Article 107717. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107717.

2. Zaghal J., Molnár V., Benke M. Improving surface integrity by optimizing slide diamond burnishing parameters after hard turning of 42CrMo4 steel. The *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. Vol. 128. P. 2087–2103. DOI: 10.1007/s00170-023-12008-6.

УДК 629.35

ГОЛОВНІ НОВИНКИ ТА ТРЕНДИ ВАНТАЖНОЇ АВТОТЕХНІКИ ЗА ПІДСУМКАМИ 2026 РОКУ

Омельницький О. Є.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Раз на два роки в Ганновері збираються всі виробники вантажної техніки, щоб продемонструвати свої новинки на виставці IAA, які будуть визначати напрямок руху галузці на найближчу перспективу.

Оскільки ринок ЄС давно вже є поділений серед Великою Сімкою виробників вантажних автомобілів з Європи, то в Ганновері вони по черзі показували свої моделі флагманів, отримують за це титул "Truck of the Year" («Вантажівка року») і на наступній виставці все це повторювалося. Але цього року все вийшло зовсім по-іншому і ось чому.

І от цього разу китайські виробники вантажівок теж привезли до Ганноверу свої електричні тягачі. І свої новітні електровантажівки представили європейські гравці. І в цьому протистоянні з'ясувалося, що деякі європейці вже поступаються за параметрами китайським тягачам.

Отже, маємо перший тренд. Деякі китайські вантажівки вже перевершують європейських конкурентів за такими показниками, як запас ходу на повному заряді акумуляторної батареї, потужність електричного двигуна, тощо. І це – лише початок переваги виробників вантажівок з Китаю в цьому сегменті авторинку.

А чим же відповідали європейські виробники? Вони теж все активніше запроваджують електрику і більшість дебютів були саме електричними. Наприклад, Новий електричний тягач MAN eTGX має кабіну на 120 мм більшу в довжину в носовій частині, і на 20% потужнішій системі рекуперації вдалося поліпшити економічність на 3%.

Тягач 4x2 із шістьма батареями на 542 кВт.год отримав запас ходу до 660 км. При цьому споряджена маса тягача становить 10,7 т, що вже можна порівнювати з дизельними аналогами. Тягач MAN eTGX (6x2) можна оснастити додатковою сьомою батареєю, а запас енергії становитиме 644 кВт.год, а дальність пробігу без підзарядки до 720 км. Поки що це - найкращий показник серед європейських вантажівок.

Volvo отримала на виставці почесний титул International Truck of the Year 2027 і вже демонстрували цю нагороду на власних електричних вантажівках. Цього року Volvo оновила свої моделі, але без революційних змін.Хоча й електричний тягач Volvo FH Electric мав заявлений пробіг у 700 км.

Mercedes-Benz Trucks презентовала силову лінію Powerliner, яка забезпечила зниження витрат палива до 4%. Тепер оновлені двигуни OM470

доступні у виконаннях – 360, 408 та 455 к. с., а двигун OM471 запропонують у виконанні 421, 449, 500 та 550 к. с., з максимальним крутним моментом відповідно 2200, 2500, 2650 і 2850 Нм при 1100 об/мін.

Scania довго інтригувала своєю новинкою, яка по факту виявилася лише оновленням під назвою Dynamic для сімейств R та S. По факту із важливого - це перехід до камер заднього огляду замість дзеркал, яке вже використовують всі конкуренти. Scania довго пручалося цій новації, але в решті перемогло підвищення паливної ефективності на 2%, яку дають компактні камери. Крім того, кабіна теж отримала подовжену носову частину в рамках нових габаритних вимог, розширені пороги, втоплені дверні ручки і т.п.

Натомість китайські виробники вже презентували електричний тягач BYD ETT44, який має пікову потужність 1000 к.с. (≈735 кВт), номінальна – 743 к.с. і запас ходу в 600 км для тягачу 4×2.



Ще одна китайська електровантажівка - SuperPanther eTopas 600 відтепер збирається на австрійському підприємстві Steyr, має відповідний європейський бренд і буде пропонуватися через дилерську мережу цього виробника.

Отже, можемо констатувати, що в найближчі роки ми станемо свідками великих змін на ринку вантажних тягачів. Збільшиться пропозиція електричних вантажівок, збільшиться запас ходу на одному заряді, збільшиться швидкість заряджання. Також збільшиться і пропозиція тягачів і вантажівок вироблених, або розроблених у Китаї.

УДК 656.073:664.724:355.018

ЗЕРНОВА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ: ЗБЕРІГАННЯ ТА РОЗПОДІЛ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Опалко В. Г.
Національний університет біоресурсів і природокористування

Умови функціонування зернової логістики України великою мірою змінилися під час повномасштабної війни, коли до традиційних для сільськогосподарського виробництва проблем сезонності, нерівномірності вантажопотоків, дефіциту рухомого складу та значної частки транспортних витрат додалися руйнування портової, елеваторної, залізничної й енергетичної інфраструктури, мінування територій, обмеження судноплавства та ризик ударів по місцях концентрації продукції. Тому своєчасне вивезення врожаю з поля вже не гарантує збереження продукції. За таких умов транспортні операції, сушіння, доробка, тимчасове розміщення та подальше відвантаження мають розглядатися як єдина транспортно-логістична система.

Проблеми транспортування зернового збіжжя посилилися влітку-восени 2026 року внаслідок фактичного припинення експорту через порти Великої Одеси. У першій половині серпня було експортовано 794 тис. т агропродукції, або близько 30 % потенційного обсягу. Навіть максимальне використання сухопутних переходів і портів Дунаю дає можливість вивозити орієнтовно 2-2,5 млн т на місяць, що становить близько половини потреби. Вартість альтернативної логістики зросла щонайменше на 50 дол. США на тонну, а прогнозований дефіцит потужностей для зберігання становив 8-11 млн т [1]. Через уповільнення експорту до листопада прогнозується дефіцит потужностей для зберігання в обсязі 8-11 млн т, а за галузевими оцінками - 10-12 млн т [2].

Метою дослідження є обґрунтування транспортно-логістичних рішень, які поєднують безперервне вивезення зерна з полів, розосереджене зберігання та гнучкий розподіл вантажопотоків за умов воєнних загроз.

Транспортне забезпечення сільськогосподарських підприємств включає планування вантажопотоків, вибір рухомого складу, оптимізацію маршрутів, організацію навантажувально-розвантажувальних робіт та інформаційне забезпечення [3]. У зерновому логістичному ланцюзі транспорт пов’язує виробництво з очищенням, сушінням, зберіганням, переробкою і реалізацією [4]. Ефективність такого ланцюга значною мірою залежить від елеваторних потужностей, залізничних вузлів, терміналів та узгодженого використання автомобільного, залізничного й водного транспорту [5]. Припинення морського експорту затримує звільнення сховищ, сповільнює оборот транспортних засобів і ускладнює приймання пізніх культур.

Для вирішення питання розподілу зерна між пунктами зберігання використовується поєднання транспортної задачі та задачі розміщення-розподілу (Location-Allocation Problems). Транспортна задача визначає обсяги

перевезень між пунктами виробництва і приймання за умови дотримання пропозиції і потреби за мінімальних загальних витрат. Location-allocation моделі одночасно визначають доцільні місця розташування об'єктів і розподіл перевезень між ними. Для складської мережі базова постановка має бути доповнена обмеженнями місткості, пропускної спроможності та доступності транспортних зв'язків [6].

За наявності загрози припинення роботи окремих об'єктів класична мінімізація витрат є недостатньою. Моделі надійного розміщення передбачають закріплення потоків за основними та резервними вузлами й можливість їх перерозподілу після відмови об'єкта [7]. Спільні моделі розміщення і запасів дають змогу одночасно визначати місця зберігання, обсяги запасів та схеми закріплення потоків з урахуванням імовірності порушень [7]. Для агропродовольчих ланцюгів такі рішення мають узгоджувати виробничі, складські, транспортні та розподільчі процеси [8].

Концентрація значних партій зерна на великих вузлових елеваторах і портових терміналах є економічно виправданою за стабільної інфраструктури. Але в умовах війни ураження одного об'єкта призводить до втрати продукції, місткостей, обладнання та блокування пов'язаних транспортних потоків. Децентралізація запасів забезпечує диверсифікацію ризику, проте може збільшувати складські й транспортні витрати [9]. Таким чином, для зернової логістики в умовах воєнних ризиків виникає суперечність між мінімізацією логістичних витрат, яка зазвичай стимулює концентрацію потоків і запасів, та вимогою стійкості, яка потребує їх просторового розосередження і резервування логістичних вузлів

На основі наведених підходів для організації зберігання та розподілу зернових потоків в умовах воєнних ризиків пропонується розглядати трирівневу структуру логістичної системи. Перший рівень утворюють господарства та польові пункти накопичення з наявними складами, невеликими силосами і зерновими рукавами. Їхня задача полягає в оперативному прийомі врожаю, скороченні простоїв збиральної техніки та зменшенні пікового навантаження на автомобільний транспорт. Другий рівень - локальні міжгосподарські пункти доробки та тимчасового зберігання зерна, обладнані системами очистки, сушіння, контролю якості. Третій рівень - регіональні елеватори, сухі порти і перевантажувальні термінали, пов'язані із залізницею, дунайськими портами, автомобільними під'їздами або внутрішньою переробкою.

В результаті відбувається розподіл запасів між кількома взаємозамінними вузлами, коли частина зерна залишається поблизу місця виробництва, частина після доробки спрямовується до проміжних пунктів, а експортні партії формуються при умові підтвердженої пропускної спроможності маршруту. Це зменшує одночасне скупчення автомобілів і вагонів, обмежує наслідки ураження одного об'єкта та дає можливість поступово вводити зерно у транспортний потік.

Під час вибору пункту зберігання або перевантаження необхідно одночасно враховувати відстань перевезення, наявну місткість, можливість сушіння, тривалість очікування, стан під'їзних шляхів, доступність пального й

електроенергії, воєнний ризик території та кількість доступних напрямів подальшого вивезення. Пріоритет повинен отримувати не найближчий об’єкт, а вузол із найменшими сукупними витратами та прийнятним рівнем ризику. Для цього потрібна постійно оновлювана інформація про заповнення сховищ, готовність транспортних засобів, роботу прикордонних переходів, залізничних станцій і портових терміналів.

Автомобільний транспорт у запропонованій системі забезпечує короткі й середні плечі між полем, локальним сховищем, пунктом доробки та станцією відправлення. Залізницю доцільно використовувати для сформованих великих партій, а дунайський і внутрішній водний транспорт - як складова альтернативних експортних маршрутів за наявності безпечного доступу. В такому випадку поєднання видів транспорту ґрунтується не на постійно закріпленій схемі, а на сценарному плануванні: для кожного району виробництва визначається основний, резервний і аварійний маршрути та оперативно коригується розподіл потоків в залежності стану інфраструктури.

Таким чином, стійкість зернової логістики в умовах воєнних ризиків визначається здатністю системи зберігати функціональність після втрати окремих елементів. Розосередження запасів, резервування пунктів доробки та багатоваріантна маршрутизація зменшують ризик одночасної втрати значних обсягів зерна і дають змогу пристосувати темпи відвантаження до реальної пропускної спроможності експортних шляхів.

Список використаних джерел

1. Новини на сайті Міністерства аграрної політики та продовольства України URL: https://www.kmu.gov.ua/news/taras-vysotskyi-za-pershu-polovynu-serpnia-ukraina-eksportuvala-794-tysiachi-tonn-ahroproduktsii-blyzko-30-potentsialu.

2. Без відновлення експорту Україні загрожує дефіцит зерносховищ. URL: https://agroconf.org/content/bez-vidnovlennya-eksportu-ukrayini-zagrozhuie-deficit-zernoshovishch.

3. Зайцев А. М., Аулін В. В., Лисенко С. В., Гудь В. З. Організація, принципи та система транспортного забезпечення сільськогосподарських підприємств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч. І. С. 223-229. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.223-229.

4. Седіков Д. В. Управління логістичними ланцюгами підприємств. Економіка харчової промисловості. 2019. Т. 11, вип. 3. С. 59-65. DOI: 10.15673/fie.v11i3.1462.

5. Киш Л. М. Транспортна логістика в аграрному секторі: реалії та перспективи розвитку. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 8. С. 54-67.

6. Malacký P. Transportation and Location-Allocation Problems. Pošta, Telekomunikácie a Elektronický obchod. 2024. Vol. 19, No. 1. P. 29-35. DOI: 10.26552/pte.C.2024.1.4.

7. Chen Q., Li X., Ouyang Y. Joint Inventory-Location Problem under the Risk of Probabilistic Facility Disruptions. Transportation Research Part B: Methodological. 2011. Vol. 45, No. 7. P. 991-1003. DOI: 10.1016/j.trb.2011.04.004.

8. Ahumada O., Villalobos J. R. Application of Planning Models in the Agri-Food Supply Chain: A Review. European Journal of Operational Research. 2009. Vol. 196, No. 1. P. 1-20. DOI: 10.1016/j.ejor.2008.02.014.

9. Schmitt A. J., Sun S. A., Snyder L. V., Shen Z.-J. M. Centralization versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions. Omega. 2015. Vol. 52. P. 201-212. DOI: 10.1016/j.omega.2014.06.002.

УДК 656.135.073.42:631.55:633.1

СИСТЕМНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБИРАННЯ ТА ПЕРЕВЕЗЕННЯ УРОЖАЮ ЗЕРНОВИХ

Опалко В. Г.

Національний університет біоресурсів і природокористування

Ефективність виробництва сільськогосподарської продукції значною мірою визначається узгодженістю збиральних і транспортних операцій. Під час збирання зернових транспорт забезпечує переміщення врожаю та безпосередньо впливає на безперервність роботи комбайнів, тривалість збиральної кампанії, кількісні й якісні втрати та собівартість продукції.

Підвищення ефективності окремої ланки збирально-транспортного комплексу не завжди забезпечує підвищення ефективності системи в цілому. Зменшення кількості транспортних засобів скорочує витрати на перевезення, але за недостатньої провізної здатності призводить до простоїв комбайнів і збільшення втрат урожаю. Надлишкове резервування транспорту, навпаки, зменшує ймовірність простою збиральної техніки, але збільшує транспортні витрати. Тому оцінювання ефективності потребує врахування результатів функціонування збиральної і транспортної ланок як єдиної системи.

Особливістю перевезень сільськогосподарської продукції є залежність вантажопотоку від біологічних властивостей, строків достигання, урожайності тієї чи іншої культури, вологості, погодних умов та просторового розміщення полів. На параметри транспортного процесу також впливають стан польових і місцевих доріг, відстань до току чи елеватора, пропускна спроможність пунктів навантаження і розвантаження, кількість та технічні характеристики збиральних і транспортних засобів [1-3]. Тому транспортне забезпечення збирання врожаю доцільно розглядати як складну виробничо-транспортну систему, результат функціонування якої формується під впливом керованих і некерованих чинників.

Метою дослідження є розробка концептуальної моделі системного оцінювання ефективності транспортного забезпечення збирання та перевезення

зернових культур шляхом представлення транспортного процесу у вигляді «чорного ящика» з визначенням вхідних параметрів, зовнішніх впливів, керованих рішень і вихідних показників.

На функціонування збирально-транспортної системи впливають керовані організаційно-технологічні параметри та некеровані чинники зовнішнього середовища. Керовані параметри визначаються прийнятими управлінськими рішеннями, а зовнішні збурення відображають випадкові або незалежні від суб'єкта управління зміни умов виконання перевезень. Тоді функціонування досліджуваної системи можна представити у вигляді залежності:

$$Y = F(X, Z, U)$$

де X - вхідні характеристики об'єкта і ресурсів; U - керовані параметри; Z - некеровані зовнішні та внутрішні випадкові збурення; Y - результати функціонування системи.

До вхідних параметрів X віднесено характеристики, значення яких відомі або можуть бути визначені на момент планування транспортного процесу, тоді як збурення Z характеризують неконтрольовані зміни умов, що виникають у процесі його виконання.

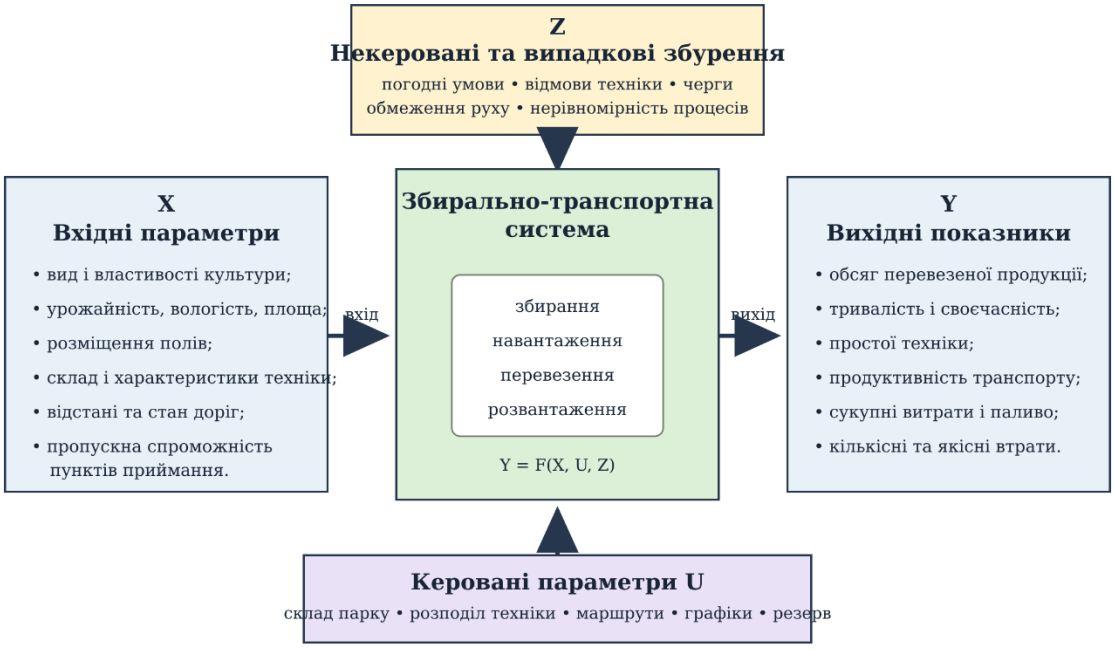


Рис. 1. Концептуальна модель транспортного забезпечення збирання зернових культур

До першої групи входять параметри сільськогосподарської культури та технологічного процесу: вид культури, біологічні строки збирання, допустима тривалість перебування зібраної продукції без доробки, урожайність, вологість, насипна щільність, схильність до механічних пошкоджень і втрат якості, площа та конфігурація полів. Обсяг перевезень зазвичай визначається як добуток площі збирання та урожайності і коригується з урахуванням польових втрат, вологості й засміченості. А біологічні властивості культури визначають допустимі часові межі виконання технологічно-транспортних операцій.

Другу групу утворюють техніко-технологічні параметри: кількість і продуктивність зернозбиральних комбайнів, місткість їхніх бункерів; кількість, вантажопідйомність і технічна швидкість автомобілів; кількість та місткість бункерів-перевантажувачів, продуктивність їхніх вивантажувальних шнеків; пропускна спроможність току, складу або елеватора. Зміна продуктивності комбайнів і місткості накопичувальних бункерів впливає на інтенсивність надходження заявок на транспортне обслуговування, оптимальну кількість автомобілів та загальні логістичні витрати [4].

Третя група включає просторово-інфраструктурні параметри: відстань перевезення, розміщення полів і пунктів приймання, тип та стан дорожнього покриття, допустиму швидкість руху, обмеження проїзду, час руху на маршруті та можливість використання альтернативних маршрутів. На початковій ділянці перевезення від поля до току або місця тимчасового зберігання значна частина руху може здійснюватися польовими та ґрунтовими дорогами, тому стан доріг слід задавати не описово, а через розрахункові показники: середню технічну швидкість, коефіцієнт опору руху, ймовірність затримки та додаткові експлуатаційні витрати.

До некерованих і випадкових збурень Z віднесено опади, зміну температури та вологості зерна, відмови техніки, нерівномірність заповнення бункерів, черги на пунктах приймання, тимчасові обмеження руху та інші чинники, які не можуть бути безпосередньо визначені суб’єктом управління. Їх наявність зумовлює стохастичний характер системи. Потік запитів на транспортне обслуговування виникає в моменти заповнення бункерів комбайнів, а транспортні засоби виконують роль каналів обслуговування, тому для визначення довжини черги, часу очікування, завантаження системи і кількості автомобілів можуть застосовуватися моделі теорії масового обслуговування [4].

Керованими параметрами U є кількість і тип автомобілів, закріплення транспортних засобів за комбайнами або полями, вибір пункту призначення та маршруту, черговість обслуговування, графік роботи, застосування бункерів-накопичувачів, резервування техніки та оперативне коригування плану перевезень. Ці рішення можуть змінюватися для пристосування системи до поточного стану входів і зовнішніх умов.

Вихідні показники Y характеризують результати виконання транспортної роботи та ефективність функціонування збирально-транспортної системи. Таким чином, технологічні результати – це фактичний обсяг перевезеної продукції, тривалість збирання і доставки, виконання змінного плану та ритмічність подачі автомобілів. Техніко-експлуатаційну ефективність характеризують продуктивність транспортного засобу, кількість та середня тривалість оборотів, коефіцієнти використання пробігу і вантажопідйомності, час простою комбайнів та автомобілів. Економічні результати включають загальні транспортні витрати, собівартість перевезення 1 т продукції, витрати пального і вартість втрат урожаю. До показників збереження продукції віднесені зміну вологості та якості зерна, частку його кількісних втрат, обсяг своєчасно доставленої продукції.

При такому підході отриманий результат можна характеризувати як досягнення заданого обсягу при визначених строках доставки, а ефективність - співвідношення отриманого результату з використаними ресурсами і втратами. Для інтегрованої оцінки пропонується використовувати критерій мінімізації сукупних витрат:

$$J = C_{\text{пер}} + C_{\text{пр к}} + C_{\text{пр а}} + C_{\text{втр}} + C_{\text{як}} \rightarrow min$$

де $C_{\text{пер}}$ - безпосередні витрати на перевезення; $C_{\text{пр к}}, C_{\text{пр а}}$ - вартісна оцінка простоїв відповідно комбайнів та автомобілів; $C_{\text{втр}}$ - вартість кількісних втрат урожаю; $C_{\text{як}}$ - втрати від зниження якості продукції. Мінімізація критерію здійснюється за обмежень щодо агротехнічного строку збирання, наявної кількості техніки, пропускної спроможності пунктів приймання, допустимих втрат і забезпечення заданого обсягу перевезень. Така постановка не допускає формального скорочення транспортних витрат шляхом зменшення кількості автомобілів, якщо це призводить до простою комбайнів або втрати врожаю.

Практичне застосування запропонованого підходу полягає у порівнянні альтернативних варіантів складу транспортного парку та організації перевезень за системою вихідних показників і критерієм сукупних витрат.

Запропоноване представлення транспортного забезпечення як «чорного ящика» дає змогу впорядкувати різнорідні чинники та встановити зв'язок між ресурсними можливостями господарства, умовами виконання робіт, управлінськими рішеннями і кінцевими результатами. На відміну від оцінювання за одним техніко-експлуатаційним показником, системний підхід враховує конфлікт інтересів окремих елементів комплексу: скорочення простоїв комбайнів може вимагати збільшення кількості автомобілів, але надмірний резерв транспорту погіршує економічні результати. Тому раціональним є не максимальне завантаження кожного елемента, а узгоджене функціонування всієї системи з мінімальними сукупними витратами та допустимими втратами продукції.

Список використаних джерел

1. Котенко В. І. Розробка моделі ланцюга постачання зернових культур. Вісник машинобудування та транспорту. 2021. № 2 (14). С. 33-37. DOI: 10.31649/2413-4503-2021-14-2-33-37.

2. Придюк В. М. Особливості організації перевезень сільськогосподарських вантажів автомобільним транспортом. Сільськогосподарські машини. 2014. Вип. 28. С. 68-72.

3. Киш Л. М. Транспортна логістика в аграрному секторі: реалії та перспективи розвитку. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 8.

4. Петрик А. В. Формування оптимальної інфраструктури транспортних систем в агропромисловому виробництві. Вісник Національного транспортного університету. 2013. Вип. 28. С. 370-379.

УДК 625.7

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Рамазанов Т. Д., Лавренко В.В., Палій О.О.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Експлуатаційний стан дорожнього покриття та інших елементів автомобільної дороги безпосередньо впливає на рівень безпеки руху, комфортність поїздок , а отже і економічну ефективність транспортних перевезень. Одним із чинників, що впливають на швидкість зношування та руйнування дорожнього одягу, є інтенсивність і структура транспортного потоку, зі збільшенням обсягів вантажних перевезень у сучасних умовах це супроводжується зростанням інтенсивності та підвищенням частки великовантажних і великогабаритних транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтенсивність дорожнього руху визначається кількістю транспортних засобів, які проходять через певний поперечний переріз автомобільної дороги протягом установленого проміжку часу – доби або години. При збільшенні інтенсивності руху зростає відповідно і кількість повторних динамічних навантажень, що передаються від транспортних засобів на конструкцію дорожнього одягу. Багаторазова дія осьових навантажень спричиняє появі деформованих станів у конструктивних шарах дороги, а поступове накопичення яких призводить до появи деформацій покриття. Отже руйнівний вплив коліс транспорту на дорожнє покриття залежить від величини осьового навантаження. Таким чином, збільшення навантаження на вісь може спричинити зростання руйнівного впливу на дорожнє покриття.

Мета. Метою є аналіз впливу інтенсивності руху автомобілів на технічний стан автомобілів і виявлення найбільш ефективних заходів щодо продовження строків служби дорожнього покриття.

Найбільші деформацій і пошкодження дорожнього покриття пов’язані із високою інтенсивністю транспортного руху до них відносяться – утворення колій, втомне руйнування, поява тріщини, вибоїн, що призводять до зсувних деформації асфальтобетонного покриття.

Колії формуються переважно внаслідок накопичення пластичних деформацій у верхніх шарах дорожнього покриття під впливом багаторазового проходження важких транспортних засобів. Особливо інтенсивно цей процес відбувається за умов високих температур повітря, коли асфальтобетон втрачає частину своєї жорсткості [1].

Поява заглиблень на поверхні дороги погіршує її рівність, ускладнює відведення атмосферних опадів, створює умови для виникнення «аквапланування» і, як наслідок, підвищує ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Суттєвий вплив на довговічність дорожнього покриття також має руйнування його матеріалів. Внаслідок багаторазового впливу навантажень, що виникають під час руху транспортних засобів, у шарах дорожньої конструкції, а зокрема в асфальтобетоні та інших шарах дорожнього одягу поступово формуються мікро-тріщини. При подальшій експлуатації в такому стані покриття – вони розширюються та об'єднуються, а вода яка проникає через пошкоджені ділянки додатково прискорює процес руйнування. В результаті чого окремі тріщини перетворюються на розгалужену сітку, що поступово призводить до втрати цілісності покриття, його розкришення та утворення вибоїн [2-3].

Важливу роль у прискоренні процесів деградації дорожнього одягу відіграє комплексний вплив транспортних навантажень і природно-кліматичних умов. Потрапляння води через тріщини та інші дефекти покриття у періоди промерзання й відтавання сприяє порушенню структури матеріалів, зменшення щільності ґрунтів земляного полотна і зниженню несучої здатності основи. За умов високої інтенсивності руху ці процеси набувають значно швидше, що може спричинити просідання окремих шарів і, зрештою, призвести до комплексного руйнування дорожньої конструкції.

Результати досліджень. Для підтримання належного експлуатаційного стану автомобільних доріг і збільшення тривалості їх міжремонтних періодів доцільно застосовувати комплекс заходів. До них належать використання сучасних матеріалів, які характеризуються підвищеною стійкістю до деформацій, а розрахунок і проєктування покриття потрібно проводити з урахуванням прогнозованої інтенсивності руху на перспективний період до десятка років, а також впроваджувати автоматизовану систему габаритно-вагового контролю транспортних засобів у русі, що дає змогу виявляти та обмежувати рух перевантажених транспортних засобів [4].

Висновки. Підвищення інтенсивності автомобільного руху є одним із головних чинників прискореного зношування та руйнування дорожніх конструкцій. Забезпечення тривалої експлуатаційної придатності автомобільних доріг потребує систематичного контролю інтенсивності й складу транспортного потоку, використання сучасних і довговічних будівельних матеріалів, а також ефективного контролю вагових і габаритних параметрів транспортних засобів. Реалізація зазначених заходів сприятиме збільшенню строків служби дорожнього покриття, зниженню частоти проведення ремонтних робіт та оптимізації витрат на утримання автомобільних доріг.

Список використаних джерел

1. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць: навчальний посібник / Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 113 с.

2. Поляков В. М., Білякович М. О., Разбойніков О. О., Іванушко О. М., Міська Є. М. Формування навантаження від автомобіля на дорожнє покриття за різної швидкості долання нерівності. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2023, № 113.2, С. 180–192.

3. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць: навчальний посібник / Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 113 с.

4. ДСТУ 8954:2019. Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу. Київ ДП «УкрНДНЦ», 51. – Чинний від 2020-01-12.

УДК 631.3:631.17

РЕСУРСОМІСТКІСТЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЯК КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ МАШИН ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Савченко Л. А.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Вибір складу та режимів роботи машин, що застосовуються в рослинництві, у практиці господарств і в більшості нормативних методик ґрунтується на показниках стадії використання, насамперед на продуктивності й питомій витраті палива, тоді як витрати ресурсів на виготовлення машини, її технічне обслуговування і ремонт (repair and maintenance) та утилізацію або залишаються поза розрахунком, або закладаються в нього укрупненими нормативами, незалежними від накопиченого напрацювання. Для України це питання набуло особливої гостроти після того, як вартість пошкодженої та знищеної внаслідок воєнних дій сільськогосподарської техніки за оцінкою KSE Агроцентру сягнула 5,8 млрд дол. США, або 56,7 % прямих збитків аграрного сектору [1], адже рішення щодо відновлення парку, ухвалені лише з огляду на ціну придбання, визначатимуть витрати господарств на весь подальший термін служби машин.

Наявний парк, за даними Держстату, на кінець 2019 р. налічував у сільськогосподарських підприємствах 130 529 тракторів, 26 524 зернозбиральні комбайни і 66 511 сівалок, однак з 2020 р. спостереження за наявністю техніки проводиться один раз на п’ять років [2], через що відстеження вікової структури парку ускладнене. Про вагу експлуатаційної складової свідчить структура витрат галузі у 2020 р., коли на паливо-мастильні матеріали й електроенергію було спрямовано 66,5 млрд грн (13,0 % проміжного споживання), на матеріали для ремонту і запасні частини 27,8 млрд грн (5,4 %), а споживання основного капіталу, яке у 2015 р. становило 14,0 млрд грн, зросло до 42,3 млрд грн [3]. За нашими розрахунками за даними [3], сума цих трьох статей дорівнює 136,6 млрд грн, або 35,8 % валової доданої вартості сільського господарства.

Аналіз останніх досліджень. Закладена академіком П. М. Василенком теорія землеробської механіки [4] стала основою для обґрунтування параметрів робочих органів і стійкості руху машинних агрегатів, проте зміна експлуатаційних показників машини впродовж терміну служби в ній не

розглядалася, а в експлуатаційно-економічних розрахунках це питання розв'язують за допомогою емпіричних коефіцієнтів витрат на ремонт залежно від накопиченого напрацювання, наведених у стандарті ASABE D497 [5]. Застосування методології оцінювання життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA), регламентованої ДСТУ ISO 14040 і ДСТУ ISO 14044 [10], дало змогу встановити, що в енергомісткості життєвого циклу самохідного збирального комбайна на технічне обслуговування і ремонт припадає 72,0–72,8 % [6], а енерговитрати й викиди парникових газів у життєвому циклі трактора залежать від його потужності [7]. Порівняльне LCA-оцінювання тракторів із системою рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) і системою селективного каталітичного відновлення (SCR) засвідчило перевагу останньої за категоріями впливу, пов'язаними з викидами NOx і твердих частинок, на рівні 59–73 % [8], хоча праць, у яких екологічне навантаження польових операцій оцінюється з урахуванням зміни складу відпрацьованих газів, як показав огляд [9], небагато. В усіх зазначених дослідженнях об'єктом оцінювання виступає окрема машина, тоді як взаємозв'язок показників машин різного віку, що одночасно працюють в одному технологічному процесі, залишається поза увагою.

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні критерію ресурсомісткості життєвого циклу, придатного для визначення раціонального терміну служби машин збирально-транспортного комплексу з урахуванням зміни їхніх експлуатаційно-технологічних показників у міру накопичення напрацювання.

Результати досліджень. Збирально-транспортний комплекс подано як сукупність машин Mi (i = 1, …, n), для кожної з яких продуктивність Wi(t), коефіцієнт технічної готовності Kтг,i(t), питома витрата ресурсу на використання qi(t) і на технічне обслуговування та ремонт ri(t) розглядаються як функції напрацювання t, мото-год, у межах терміну служби [0; Ti]. Межі системи встановлено від видобування сировини до утилізації (cradle-to-grave), функціональною одиницею прийнято 1 га зібраної площі, а ресурсомісткість життєвого циклу i-ї машини в розрахунку на функціональну одиницю записано у вигляді

$$Qi(Ti) = [EiA + \int 0T_i\,(qi(t) + ri(t))\,dt + EiC] \,/\, \int 0T_i\, Wi(t)\, Kтг,i(t)\,dt, \qquad (1)$$

де EiA, EiC – ресурсомісткість виготовлення машини та закінчення її життєвого циклу. Залежно від мети розрахунку ресурс у виразі (1) може вимірюватися в МДж, кг CO2-екв. або грн, тому одна й та сама розрахункова схема придатна для енергетичного, екологічного й економічного оцінювання. Прирівнявши до нуля похідну Qi за Ti, отримуємо умову, за якої подальша експлуатація машини перестає зменшувати її ресурсомісткість: питомі витрати ресурсу на поточному напрацюванні (qi + ri) / (WiKтг,i) мають дорівнювати середньому значенню Qi за весь попередній період. Ця умова узгоджується з відомим у теорії заміни техніки принципом мінімуму середніх накопичених витрат і водночас поширює його на енергетичну та екологічну бази вимірювання. Оскільки ri(t) з напрацюванням зростає, а Kтг,i(t) знижується, причому

інтенсивність цих змін для різних баз неоднакова, раціональні терміни служби, визначені за енергетичним, екологічним та економічним показниками, у загальному випадку не збігаються, і для їх узгодження запропоновано інтегральний критерій

$$KLC = \Sigma_j\, w_j \Sigma_i\, \tilde{Q}_{ij} \rightarrow \min, \quad \Sigma_j\, w_j = 1, \tag{2}$$

у якому $\tilde{Q}_{ij}$ є нормованим значенням показника (1) і-ї машини за j-ю базою, а вагові коефіцієнти w_j передбачено встановлювати методом нечіткого аналізу ієрархій (fuzzy-AHP) на основі експертного оцінювання. Пошук мінімуму (2) ведеться за умови, що пропускна здатність транспортних засобів не менша від продуктивності комбайнів:

$$\Sigma_k\, W_k(t)\, К_{тг,k}(t) \le \Sigma_m\, W_m(t)\, К_{тг,m}(t), \tag{3}$$

де k – індекс зернозбирального комбайна, m – індекс транспортного засобу. У реальному комплексі працюють машини різного віку, показники яких знижуються з різною швидкістю, тож співвідношення, дотримане для нових машин, з часом може порушуватися й спричиняти простої комбайнів в очікуванні транспорту, тому умову (3) записано для поточних, а не паспортних значень показників.

Висновки. Сформульовано критерій ресурсомісткості життєвого циклу машини (1), який охоплює виготовлення, використання, технічне обслуговування і ремонт та утилізацію й допускає вимірювання ресурсу в енергетичних, екологічних і вартісних одиницях. З нього виведено умову раціонального терміну служби, за якою питомі витрати ресурсу на поточному напрацюванні дорівнюють середнім за весь період експлуатації. Узгодження результатів, отриманих за різними базами, запропоновано здійснювати за інтегральним критерієм (2) з урахуванням обмеження (3) на технологічну узгодженість збирально-транспортного комплексу. Наступним етапом досліджень є експериментальне встановлення залежностей $W_i(t)$, $К_{тг,i}(t)$ і $r_i(t)$ для комбайнів і транспортних засобів та визначення вагових коефіцієнтів w_j.

Список використаних джерел

1. Збитки, втрати та потреби сільського господарства через повномасштабне вторгнення / Центр досліджень продовольства та землекористування Київської школи економіки (KSE Агроцентр). Київ, 2024. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/02/RDNA3_ukr.pdf (дата звернення: 09.10.2026).

2. Стандартний звіт з якості державного статистичного спостереження «Наявність сільськогосподарської техніки» / Державна служба статистики України. Київ, 2022. 16 с. URL: https://stat.gov.ua/sites/default/files/2023-07/st_zv_nayavn_sg_teh.pdf (дата звернення: 09.10.2026).

3. Сільське господарство України за 2021 рік : статистичний збірник / Державна служба статистики України. Київ, 2022. С. 35–36. URL: https://stat.gov.ua/sites/default/files/2023-08/sg_21.pdf (дата звернення: 09.10.2026).

4. Василенко П. М. Введение в земледельческую механику. Киев : Сільгоспосвіта, 1996.

5. ASABE D497.7 MAR2011 (R2015). Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, MI : ASABE, 2015.

6. Mantoam E. J., Milan M., Gimenez L. M., Romanelli T. L. Embodied energy of sugarcane harvesters. Biosystems Engineering. 2014. Vol. 118. P. 156–166. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.12.003.

7. Mantoam E. J., Romanelli T. L., Gimenez L. M. Energy demand and greenhouse gases emissions in the life cycle of tractors. Biosystems Engineering. 2016. Vol. 151. P. 158–170. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.08.028.

8. Bacenetti J., Lovarelli D., Facchinetti D., Pessina D. An environmental comparison of techniques to reduce pollutants emissions related to agricultural tractors. Biosystems Engineering. 2018. Vol. 171. P. 30–40. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.04.014.

9. Lovarelli D., Bacenetti J. Exhaust gases emissions from agricultural tractors: State of the art and future perspectives for machinery operators. Biosystems Engineering. 2019. Vol. 186. P. 204–213. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.07.011.

10. ДСТУ ISO 14040:2013. Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT); ДСТУ ISO 14044:2013. Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Вимоги та настанови (ISO 14044:2006, IDT).

УДК 629.113.004.67:621.787

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Стороженко Я. О., Горбенко О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Довговічність деталей автомобільної техніки значною мірою визначається станом їхніх робочих поверхонь. Під час ремонту необхідно не лише відновити геометричні параметри деталей, а й забезпечити належну шорсткість, твердість поверхневого шару, зносостійкість і опір втомному руйнуванню. Недостатня якість фінішної обробки може спричиняти інтенсивне початкове зношування, порушення умов контакту спряжених деталей і скорочення міжремонтного ресурсу.

Традиційні способи обробки, зокрема шліфування та полірування, забезпечують високу якість поверхні, але не завжди супроводжуються достатнім зміцненням поверхневого шару. Наплавлення, газотермічне напилення та хіміко-термічна обробка дають змогу відновлювати або змінювати властивості поверхні, проте потребують спеціального обладнання, додаткових технологічних операцій або тривалого виробничого циклу. Тому актуальним є пошук доступного фінішно-зміцнювального методу, придатного для застосування в умовах автосервісного підприємства.

Аналіз останніх досліджень. До перспективних методів поверхневого пластичного деформування належать обкатування роликами, кулькове та алмазне вигладжування, а також вібраційне вигладжування. Їхня принципова відмінність від обробки різанням полягає в тому, що формування мікрорельєфу відбувається переважно за рахунок пластичного переміщення матеріалу поверхневого шару без зняття стружки.

Вібраційне вигладжування передбачає поєднання притискного зусилля з коливальним рухом деформувального елемента. Завдяки цьому змінюються умови взаємодії інструмента з поверхнею, згладжуються мікронерівності та формується зміцнений поверхневий шар. Експериментальні дослідження вигладжування валів підтверджують можливість зниження шорсткості й підвищення твердості поверхні, водночас указуючи на необхідність контролю зміни діаметра та відхилення від круглості після обробки [1].

Дослідження вібраційного кулькового вигладжування також засвідчують, що ефект обробки залежить від величини притискного зусилля, амплітуди коливань, кількості проходів і початкового стану поверхні. Надмірна інтенсивність деформування не гарантує подальшого поліпшення всіх показників, тому параметри процесу необхідно встановлювати з урахуванням матеріалу й функціонального призначення деталі [2; 3].

Мета досліджень. Метою роботи є обґрунтування доцільності застосування вібраційного вигладжування для фінішної обробки та зміцнення робочих поверхонь деталей автомобільної техніки, а також визначення основних параметрів процесу й критеріїв оцінювання його технологічної ефективності.

Результати досліджень. Порівняння способів поліпшення робочих поверхонь показує, що вибір технології залежить від величини зношування, необхідної точності, вимог до поверхневого шару та доступного обладнання. Токарна обробка забезпечує відновлення форми й розмірів, однак не завжди створює необхідні властивості поверхні. Шліфування підвищує точність обробки, але за порушення режимів може спричинити термічні пошкодження. Полірування забезпечує низьку шорсткість, проте саме по собі не гарантує істотного зміцнення матеріалу.

Наплавлення та газотермічне напилення доцільні для відновлення поверхонь зі значним зношуванням, оскільки дозволяють нарощувати матеріал. Водночас вони часто потребують наступної механічної обробки. На відміну від цих технологій, вібраційне вигладжування призначене насамперед для

фінішного оброблення попередньо підготовленої поверхні та не забезпечує відновлення значної втрати металу [4].

Основною перевагою вібраційного вигладжування є комплексна дія на поверхню. Пластичне деформування згладжує вершини мікронерівностей, сприяє підвищенню твердості поверхневого шару та може формувати сприятливі стискальні залишкові напруження. Водночас ефективність процесу необхідно оцінювати не лише за шорсткістю, а й за мікротвердістю, збереженням геометричних розмірів, відхиленням від круглості та зносостійкістю деталі [1–3].

Для реалізації технології передбачено розроблення пристосування з електромеханічним приводом. Згідно з вихідними технічними параметрами, притискне зусилля має регулюватися в межах 50–300 Н, потужність електродвигуна становить 0,6 кВт, а його номінальна частота обертання – 1500 хв$^{-1}$. Вибір режиму вигладжування повинен також ураховувати амплітуду та частоту коливань деформувального елемента, властивості матеріалу й початковий стан поверхні.

Технологічну ефективність запропонованого пристосування доцільно перевіряти порівняльними випробуваннями до та після обробки. Основними критеріями мають бути зміна параметра шорсткостів, мікротвердості, зносостійкості та геометричних характеристик деталі. Для підтвердження експлуатаційного ефекту необхідно також оцінити зношування й працездатність оброблених деталей у відповідних умовах тертя.

Висновки. Вібраційне вигладжування є перспективним методом фінішного оброблення та зміцнення робочих поверхонь деталей автомобільної техніки. На відміну від способів, які переважно забезпечують відновлення геометрії або зменшення шорсткості, цей метод дає змогу одночасно впливати на мікрорельєф і механічний стан поверхневого шару.

Доцільність його застосування в автосервісному виробництві визначається можливістю виконання фінішної обробки без зняття стружки та використанням відносно простого пристосування. Водночас досягнення необхідної якості залежить від правильного вибору притискного зусилля, параметрів коливань і вихідного стану деталі.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на експериментальне визначення раціональних режимів вібраційного вигладжування, оцінювання зміни шорсткості, мікротвердості й геометричних параметрів деталей, а також перевірку впливу обробки на їхню зносостійкість і ресурс.

Список використаних джерел

1. Huuki J., Hornborg M., Juntunen J. Influence of Ultrasonic Burnishing Technique on Surface Quality and Change in the Dimensions of Metal Shafts. *Journal of Engineering*. 2014. Vol. 2014. Article 124247. DOI: 10.1155/2014/124247.

2. Jerez-Mesa R., Llumà J., Travieso-Rodríguez J. A. Vibration-Assisted Ball Burnishing. *Encyclopedia*. 2021. Vol. 1, No. 2. P. 460–471. DOI: 10.3390/encyclopedia1020038.

3. Jerez-Mesa R., Travieso-Rodríguez J. A., Landon Y., Dessein G., Llumà-Fuentes J., Wagner V. Comprehensive Analysis of Surface Integrity Modification of Ball-End Milled Ti-6Al-4V Surfaces through Vibration-Assisted Ball Burnishing. *Journal of Materials Processing Technology*. 2019. Vol. 267. P. 230–240. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.12.022.

4. Feng S. et al. Correlation between Vibration Signal and Surface Quality Based on Recurrence Analysis during Surface Burnishing Process. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 200. Article 110654. DOI: 10.1016/j.ymssp.2023.110654.

УДК 621.43:665.7

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПАЛЬНОГО НА РОБОТУ ДВИГУНА

Ступка В. О., Лавренко В. В.
Полтавський державний аграрний університет

Автомобіль це складна технічна система, ефективність роботи двигуна якої залежить від якості пального. Паливо виконує головну функцію в двигуні внутрішнього згоряння – за рахунок системи живлення, забезпечується суміше утворення палива з повітрям у відповідних пропорціях та процес згоряння, у результаті чого виробляється енергія для приведення в рух автомобіля. Використання якісного бензину або дизельного пального є важливою умовою стабільної роботи двигуна, економії пального та довговічності основних вузлів двигуна автомобіля.

Пальне та його якість характеризується показниками, які встановлюються державними стандартами і вимогами виробників автомобілів. Для двигунів з бензиновим паливом одним із основних параметрів якості є октанове число, що характеризує стійкість пального до детонації під час згоряння. При використанні бензину з нижчим октановим числом, ніж рекомендує виробник автомобіля, у двигуні може відбуватися детонація, що супроводжується нерівномірним згорянням паливної суміші, появою сторонніх звуків (вибухи, клацання) та підвищеним навантаженням на деталі КШМ. При цьому втрачається потужність двигуна, збільшується витрата палива та пришвидшується знос деталей поршневої групи.

У дизельних двигунах важливим показником є цетанове число, що впливає на швидкість займання пального. Низька якість дизельного пального може спричинити ускладнений запуск двигуна, наприклад в холодну пору року, нестійку роботу та підвищена димність відпрацьованих газів. А перевищення вмісту сірки у дизельному паливі негативно впливає на екологічні показники двигуна автомобіля і пришвидшує корозію елементів паливної системи, що призводить до вартісного ремонту.

Найбільшою проблемою неякісного пального є наявність домішок та забруднень, що разом з паливом потрапляють в паливну систему та двигун. Так в паливі можуть міститися вода, механічні включення та хімічні сполуки, наявність яких знижує якість, а отже не відповідність стандартам. Важкі домішки забруднюють паливні фільтри, форсунки та паливний насос, в наслідок чого порушується подача пального в двигун, погіршується процес згоряння і як наслідок знижується ефективність роботи двигуна автомобіля. Сучасні автомобілі, що мають систему електронного впорскування пального миттєво реагують на неякісне пальне, навіть незначний вміст різних механічних включень та хімічних сполук і наявності вологи можуть призвести до серйозних несправностей та дорогого ремонту [1].

Використання неякісного пального також впливає на процес мащення в двигуні, при неповному згорянні підвищується кількість нагару на свічках запалювання, клапанах та поршнях, призводить до погіршення тепловідведення і зниження ефективності роботи двигуна. В окремих випадках нагар може стати причиною перегріву двигуна, постійній роботі при високих температурах і як наслідок виходу з ладу окремих деталей.

Важливим аспектом є економічність автомобіля, так при використанні якісного пального забезпечується повне та стабільне згоряння паливної суміші, що дозволяє зменшити витрату пального. Навпаки ж неякісний бензин або дизель призводить до втрати потужності, через що водій змушений сильніше натискати на педаль акселератора, в результаті чого витрата пального збільшується, а експлуатація автомобіля стає менш економічною.

Якість пального важливий показник екологічності двигуна. При згорянні неякісного пального в атмосферу потрапляє підвищена кількість шкідливих речовин, зокрема оксидів азоту, чадного газу та сажі утворюючи смог, що негативно впливає на навколишнє середовище та здоров’я людини. Тому при проєктуванні сучасних автомобілів велика увага приділяється використанню екологічних палив та дотриманню міжнародних стандартів якості [2, 3].

Як рекомендація водіям, для забезпечення стабільної роботи двигуна - заправляти автомобіль лише на перевірених автозаправних станціях та використовувати пальне, що відповідає вимогам стандартів і автовиробника. Важливим елементом є своєчасна заміна паливних фільтрів та проведення технічного обслуговування паливної системи .

Якість пального безпосередньо впливає на роботу двигуна, потужність, економічність і довговічність, використання якісного пального дозволяє зменшити ризик виникнення несправностей, зменшити витрати на вартісний ремонт та забезпечити надійну експлуатацію автомобіля. Контроль якості пального - важливий фактор для ефективної роботи автомобільного транспорту.

Список використаних джерел

1. Мітков Б.В. , Мітков В.Б., Ігнатьєв Є.І., Лиса Ю.Ю. Вплив якості палива пропонуємого АЗС України на роботу двигунів внутрішнього згорання.

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2013. Вип. 3, Т. 1. С. 40-50.
2. Тесля В.О. Підвищення безпеки використання автомобілів шляхом удосконалення методів оцінювання динамічних і енергетичних характеристик : автореф. дисертації на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20. Харків, 2015. 20 с.
3. ДСТУ EN 14274:2014 Паливо автомобільне. Оцінювання якості бензину і дизельного палива. Система потокового контролювання якості палива (СПКЯП) (EN 14274:2003, IDT). [Чинний від 2015-04-01]. Київ, 2015. (Державний стандарт України).

УДК 625.7:504.4

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ НА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Ткаченко В.В., Коробка Д.А., Лавренко В.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Автомобільні дороги є важливою частиною транспортної системи, оскільки забезпечують перевезення пасажирів і вантажів та сполучення між населеними пунктами. Безпека дорожнього руху залежить не тільки від водія та технічного стану автомобіля, а й від стану самої дороги та умов, у яких відбувається рух.

Одним із важливих факторів, що впливають на безпеку руху, є природні умови. Погодні та природні явища можуть погіршувати видимість, зменшувати зчеплення шин із дорожнім покриттям, спричиняти появу слизьких ділянок, підтоплення, обмерзання та руйнування дороги. У результаті окремі ділянки автомобільних доріг можуть ставати аварійно небезпечними.

Аварійно-небезпечна ділянка – це ділянка дороги, на якій через певні умови значно підвищується ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Такі ділянки можуть виникати через недоліки дороги, високу інтенсивність руху, неправильну організацію дорожнього руху, технічний стан транспортних засобів, помилки водіїв, а також через природні фактори [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливо небезпечними природними умовами є сильні опади, туман, ожеледиця, снігопади, сильний вітер, підтоплення та різкі зміни температури.

Мета. Метою є аналіз природних факторів, які можуть впливати на виникнення аварійно небезпечних ділянок та заходами щодо належного утримання автомобільних доріг та недопущення їх критичного стану внаслідок дії природних факторів для зменшення аварійності.

До основних природних факторів, які можуть впливати на виникнення аварійно небезпечних ділянок, належать:

- атмосферні опади;
- туман;
- ожеледиця та обмерзання;
- снігопади;
- висока або низька температура;
- сильний вітер;
- підтоплення та затоплення;
- рельєф місцевості;
- особливості ґрунтів;
- рослинність поблизу дороги.

Кожен із цих факторів окремо впливає на умови руху та може створювати небезпечні ситуації.

Результати досліджень. Для зменшення аварійності необхідно правильно утримувати автомобільні дороги та своєчасно реагувати на несприятливі природні умови і їх вплив на дорожнє покриття [1–3].

Основними заходами щодо належного утримання автомобільних доріг та недопущення їх критичного стану внаслідок дії природних факторів є:

1. контроль стану дороги під час несприятливих погодних умов,
2. своєчасне очищення доріг від снігу та боротьба з ожеледицею;
3. забезпечення водовідведення;
4. встановлення попереджувальних дорожніх знаків, своєчасне нанесення дорожньої розмітки, дорожніх огороджень і обмеження швидкості на небезпечних ділянках;
5. ремонт покриття, ям та інших пошкоджень дорожнього полотна;
6. забезпечення належного освітлення небезпечних ділянок [3–4].

Важливу роль також відіграє інформування водіїв про складні погодні умови та необхідність вибору безпечної швидкості руху.

Висновки. Природні фактори мають значний вплив на безпеку дорожнього руху – дощ, сніг, ожеледиця, туман, сильний вітер, перепади температури, підтоплення та особливості рельєфу – можуть погіршувати стан дороги й умови руху. Під дією цих факторів зменшується зчеплення шин із дорогою, погіршується видимість, збільшується гальмівний шлях та знижується стійкість автомобіля. Тому ділянки, де природні фактори проявляються особливо сильно, потребують підвищеної уваги та спеціальних заходів безпеки. Своєчасне утримання та ремонт доріг, належне водовідведення, очищення від снігу та ожеледиці, належне позначення небезпечних місць і дотримання водіями безпечної швидкості, що дозволяє значно зменшити ризик виникнення дорожньо–транспортних пригод.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Порядку виявлення аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод: наказ Міністерства інфраструктури України від 12.08.2022 № 598.
2. ДСТУ 9196:2022 «Автомобільні дороги. Правила призначення ремонтних заходів» // Київ ДП «УкрНДНЦ» 2022 – 7 с.– Чинний від 2023-06-01.
3. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану // Київ ДП «УкрНДНЦ» 2022 – 40с. – Чинний від 2022-01-12.
4. ДСТУ 8954:2019 Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу // Київ ДП «УкрНДНЦ» 2019 – 51 с. – Чинний від 2020-01-12.

УДК 621.436.038.8:629.3

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК НА ПАРАМЕТРИ ПАЛИВОПОДАЧІ АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ

Харак Р. М., Бабенко В. В., Соколовський С. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Паливна економічність автотракторних дизелів значною мірою залежить від технічного стану системи живлення, зокрема форсунок. У процесі експлуатації зношуються напрямні та запірні поверхні голки й корпусу розпилювача, знижується гідравлічна щільність, порушується герметичність і погіршується якість розпилювання палива. Такі зміни призводять до нерівномірного сумішоутворення, зниження потужності, збільшення питомої витрати палива та димності відпрацьованих газів.

За даними різних досліджень ресурс розпилювачів паливної апаратури становить орієнтовно 1500–2500 мотогодин. Найбільш частими місцями зносу робочих поверхонь розпилювачів форсунок є: кінець корпусу розпилювача, кінець стрижня голки, направляюча поверхня корпусу розпилювача, замикаючий конус корпусу розпилювача, отвори для розпилення, циліндрична поверхня направляючої розпилювальної голки. До поширених несправностей належать зменшення тиску початку впорскування, зниження гідравлічної щільності, порушення герметичності по запірному конусу, заклинювання голки та закоксування або зношування розпилювальних отворів. Основними причинами зношування є ударні навантаження, абразивна дія механічних домішок і зміна властивостей робочих поверхонь [1, 2].

Мета досліджень – оцінити вплив технічного стану дизельних форсунок на параметри паливоподачі шляхом встановлення кількісних закономірностей між показниками гідравлічної щільності форсунок та цикловою подачею палива насосів високого тиску для забезпечення паливної економічності автотракторних дизелів.

При експериментальних дослідженнях використовували три форсунки типу ФД-22. На приладі КІ-1609 визначали гідравлічну щільність, тиск початку впорскування та оцінювали якість розпилювання палива. Середній час гідравлічної щільності форсунок № 1, № 2 і № 3 становив відповідно 32, 24 та 11 с. Для всіх трьох форсунок зафіксовано однаковий тиск початку впорскування – 17,5 МПа. Форсунки № 1 і № 2 забезпечували туманоподібне розпилювання, тоді як у форсунки № 3 спостерігалося розпилювання із струменями, що вказує на погіршення якості впорскування.

Швидкісні характеристики паливного насоса НД-21 з дослідними форсунками визначали на стенді КІ-15711М. На режимі максимального крутного моменту (600 хв-1) циклова подача для форсунок № 1 і № 2 становила 64 мм³/цикл, а для форсунки № 3 – 58 мм³/цикл. На максимальних обертах холостого ходу (950 хв-1) відповідні значення становили 32,5; 30,5 і 26,0 мм³/цикл. Отже, форсунка № 3 мала найгірші показники за гідравлічною щільністю, якістю розпилювання та подачею палива, попри однаковий тиск початку впорскування. Це підтверджує, що оцінювання технічного стану форсунки не можна обмежувати лише перевіркою тиску.

Встановлено, що технічний стан форсунок впливає на рівномірність і величину циклової подачі палива, якість розпилювання та, відповідно, паливну економічність дизеля. Випробування форсунок ФД-22 виявили істотну різницю в часі гідравлічної щільності (від 11 до 32 с) за однакового тиску початку впорскування 17,5 МПа. Найгірші результати отримано для форсунки № 3, яка потребує очищення, регулювання або ремонту з перевіркою стану розпилювача. Для забезпечення паливної економічності дизелів доцільно регулярно перевіряти гідравлічну щільність, тиск початку впорскування, якість розпилювання та характеристики подачі палива, а також забезпечувати належне очищення пального й своєчасне технічне обслуговування.

Список використаних джерел

1. Анісімов В.Ф., Єленич А.П. Особливості конструкції паливної апаратури та збільшення терміну її експлуатації. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021.№ 2 (113). С. 67-77.

2. Афонін В.М., Воронков О.І., Авраменко А.М., Воробйов Д.В. Вплив конструктивних особливостей розпилювача паливної форсунки на процес упорскування дизельного палива. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2024. № 106. С. 72-78.

УДК 631.372:621.352.6:004.94

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ ПАЛИВНО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО НАВАНТАЖУВАЧА

Шулятицький Н. І.
Поліський національний університет

Постановка проблеми. Перехід сільськогосподарських мобільних машин до низьковуглецевих силових установок потребує попередньої оцінки їх енергетичних, тягових і гідравлічних режимів без проведення значного обсягу натурних випробувань. Для телескопічного навантажувача задача ускладнюється одночасною роботою трансмісії, гідравлічного приводу стріли та допоміжних систем. Тому ефективним інструментом обґрунтування параметрів гібридної водневої силової установки є комплексне імітаційне моделювання, яке враховує динаміку машини, взаємодію коліс з опорною поверхнею, характеристики гідростатичної трансмісії, паливної комірки, батареї та електродвигуна.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженні Martini, Mocera та Somà чисельні моделі традиційного і паливно-елементного телескопічних навантажувачів побудовано у MATLAB/Simulink із використанням Simscape та підходу Physical Network. Для базової машини модель охоплює поздовжню динаміку, гідростатичну трансмісію, гідромеханічну систему стріли, потужність двигуна та витрату палива. Для гібридного варіанта додатково враховано PEMFC, акумуляторну батарею, DC/DC-перетворювачі та електродвигун [1]. Такий підхід забезпечує енергетичний зв'язок між окремими підсистемами та дозволяє аналізувати їх взаємний вплив у реальних робочих режимах.

Мета досліджень – систематизувати принципи побудови чисельної моделі телескопічного навантажувача з гібридною паливно-елементною силовою установкою та визначити основні параметри, необхідні для достовірного відтворення тягових, гідравлічних і електроенергетичних процесів.

Результати досліджень. Модель динаміки машини сформовано як одновимірну поздовжню систему. Рівняння руху враховує сумарні поздовжні сили на передній і задній осях, аеродинамічний опір і складову сили тяжіння на ухилі. Нормальні реакції на осях визначаються з урахуванням положення центра мас, геометрії колісної бази та нахилу опорної поверхні. Сили тяги задаються через крутний момент на колесах, радіус колеса і статичний та кінетичний коефіцієнти зчеплення, що дає змогу відтворювати перехід від режиму кочення до буксування [1].

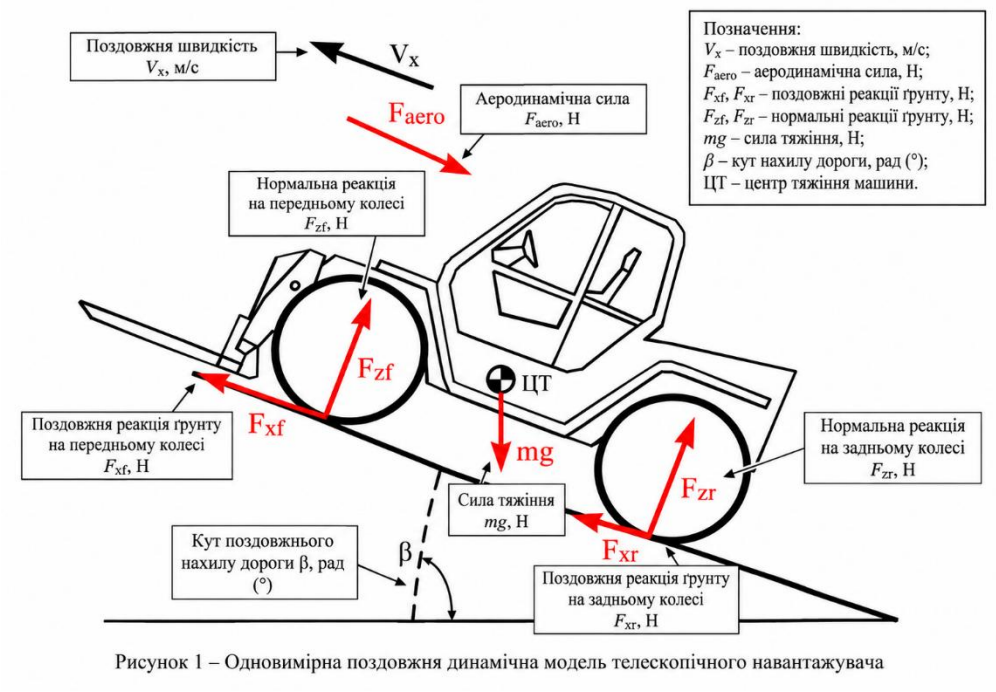


Рисунок 1 – Одновимірна поздовжня динамічна модель телескопічного навантажувача

Рис. 1. Розрахункова схема одновимірної моделі поздовжньої динаміки навантажувача

Гідростатичну трансмісію подано змінним насосом, гідромотором постійного робочого об'єму та запобіжним клапаном. Максимальний робочий об'єм насоса і гідромотора становить 150 см³, номінальний перепад тиску – 250 бар, частота обертання – 2000 хв⁻¹, а номінальний об'ємний ККД обох гідромашин – 92 %. Запобіжний клапан налаштовано на 300 бар. Гідропривід телескопічної стріли змодельовано у Simscape Multibody із двома гідроциліндрами: один змінює кут піднімання, другий – довжину висування. Положення та швидкість ланок передаються у гідравлічну модель як зворотний зв'язок.

Для дизельного варіанта витрату палива визначають за поліноміальною залежністю питомої ефективної витрати палива від нормованих частоти обертання і крутного моменту. Область мінімальної BSFC відповідає приблизно 73–77 % номінальної частоти обертання та 85–95 % номінального крутного моменту. Потужність допоміжних споживачів прийнято на рівні близько 8 % номінальної потужності двигуна [1].

У гібридній моделі напруга стека PEMFC визначається як добуток кількості комірок на різницю напруги Нернста та активаційних, омічних і концентраційних втрат. Витрату водню обчислюють через струм паливної комірки, кількість елементів стека, молярну масу водню та сталу Фарадея. Для повнішого оцінювання ефективності враховано споживання Balance of Plant, яке за прийнятим підходом становить приблизно 13–19 % потужності стека [1].

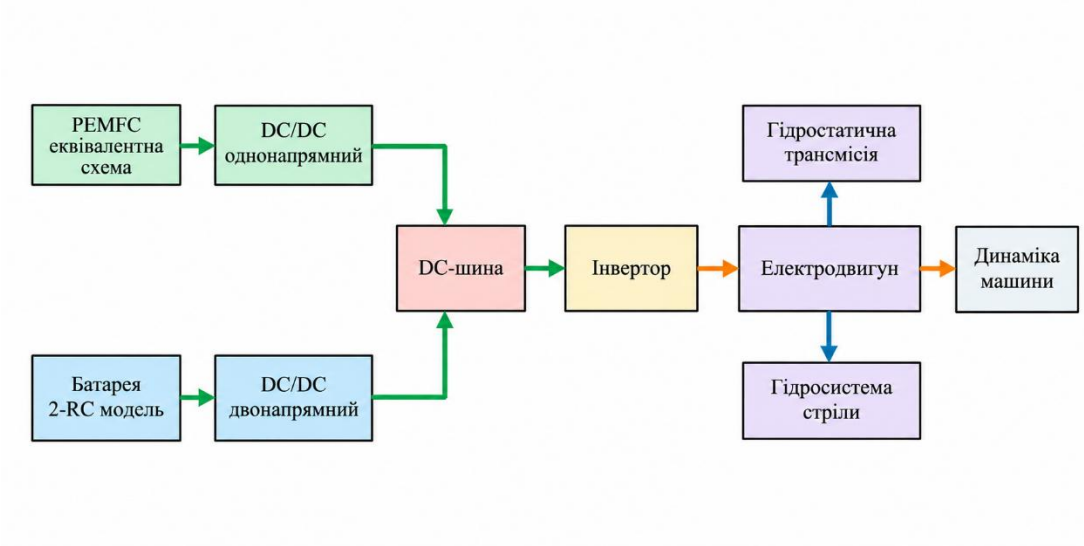


Рис. 2. Функціональна структура чисельної моделі гібридного паливно-елементного навантажувача

Акумуляторну батарею описано динамічною еквівалентною схемою подвійної поляризації з двома RC-контурами, а стан заряду визначають методом кулонівського підрахунку. ККД силових перетворювачів прийнято постійним і рівним 95 %. У моделі електродвигуна враховано залежні від крутного моменту та частоти обертання електричні втрати, а також омічні втрати у силовому колі. У результаті сформовано єдину фізичну модель, що поєднує електричну, механічну й гідравлічну підсистеми та дає можливість визначати розподіл потужності між PEMFC, батареєю, тяговим приводом і гідросистемою.

Висновки. Чисельне моделювання телескопічного навантажувача доцільно виконувати як багатодоменну фізичну модель, у якій взаємопов'язані динаміка машини, гідростатична трансмісія, гідропривід стріли та електроенергетична частина. Така структура забезпечує можливість аналізу перехідних режимів, оцінювання тягових і гідравлічних навантажень, прогнозування енергоспоживання та дослідження алгоритмів розподілу потужності. Врахування характеристик PEMFC, батареї, перетворювачів і допоміжних систем є необхідною умовою достовірної оцінки ефективності гібридної силової установки та подальшої оптимізації її параметрів.

Список використаних джерел

1. Martini V., Mocera F., Somà A. Carbon Footprint Enhancement of an Agricultural Telehandler through the Application of a Fuel Cell Powertrain. World Electric Vehicle Journal. 2024. Vol. 15. Article 91. DOI: 10.3390/wevj15030091.

2. MathWorks. Simscape: Physical Modeling and Simulation. MATLAB/Simulink documentation.

3. Larminie J., Dicks A., McDonald M. S. Fuel Cell Systems Explained. 3rd ed. Wiley, 2018.

СЕКЦІЯ «ІСТОРІЯ АГРАРНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ»

УДК 63:378(09)(477.53)

СТАНОВЛЕННЯ АГРАРНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ НА ПОЛТАВЩИНІ: ІСТОРИЧНИЙ ДОСВІД ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

Бабич Я. В.
Полтавський державний аграрний університет

Історія аграрної освіти і науки відображає формування способів одержання, перевірки та передавання знань про сільськогосподарське виробництво. Для Полтавщини ця проблематика має особливе значення завдяки тривалій традиції польових досліджень і підготовки аграрних фахівців. Вивчення регіонального досвіду дає змогу простежити, як виробничі потреби впливали на діяльність наукових установ та розвиток освітніх осередків.

Мета роботи - охарактеризувати основні віхи становлення аграрної освіти й науки на Полтавщині та визначити значення цього досвіду для сучасної підготовки фахівців.

Важливою подією стало заснування Полтавського дослідного поля у 1884 році. Його діяльність відповідала потребі в систематичному вивченні сільськогосподарського виробництва. Дослідні програми змінювалися відповідно до актуальних завдань аграрної галузі, а накопичені матеріали формували основу тривалого наукового пошуку [1]. Практичне значення цього етапу полягало в переході від окремих господарських спостережень до організованої дослідної роботи.

У 1910 році дослідне поле було перетворене на дослідну станцію. Історію його діяльності доповнюють зв’язки з діячами Полтавського краєзнавчого музею, висвітлені у сучасному дослідженні [2]. Такі зв’язки дозволяють розглядати аграрну науку як частину ширшого середовища природничих досліджень, збереження колекцій і поширення знань. Водночас дослідну станцію та заклад вищої освіти слід вивчати як окремі установи, без ототожнення їхньої організаційної історії.

Історія Полтавського державного аграрного університету розпочалась від 1920 року. З 1934 року заклад діяв як Полтавський державний сільськогосподарський інститут; у 2001 році набув статусу аграрної академії, а 16 жовтня 2020 року - університету [3]. Ці зміни позначають основні організаційні етапи розвитку освітньої установи. Для історичного аналізу важливо доповнювати хронологію дослідженням навчальних програм, наукових шкіл та взаємодії з господарствами.



Рис. 1 - Основні віхи розвитку аграрної науки та освіти на Полтавщині. Авторська схема за матеріалами [1-3].

Порівняння двох ліній розвитку дає підстави виділити спільну функцію - забезпечення аграрного виробництва обґрунтованими знаннями. Дослідні установи накопичували матеріали про природні умови та результати агротехнічних прийомів, а освітні заклади забезпечували підготовку фахівців. Такий підхід до історії дозволяє зосередитися на взаємодії дослідження, навчання й практики, а не обмежуватися переліком ювілейних дат.

Сучасне осмислення цієї спадщини представлене, зокрема, матеріалами Четвертих Сазановських читань, проведених у Полтаві 2025 року. Збірник поєднує історію аграрної науки й освіти, вивчення постатей учених та обговорення актуальних наукових проблем [4]. Це створює можливість зіставляти історичний досвід із сучасними завданнями.

Для підготовки майбутніх фахівців пропонується використовувати регіональну історію як навчальний матеріал із методології досліджень. Студенти можуть аналізувати опубліковані програми дослідів, порівнювати постановку наукової проблеми в різні періоди та встановлювати зв’язок між виробничим запитом і вибором методів. Окреме завдання - розрізняти документально підтверджений факт, авторське тлумачення та припущення. Історичні агротехнічні рекомендації при цьому необхідно оцінювати в контексті тодішніх умов, а їхню сучасну придатність перевіряти окремо.

Перспективним напрямом є створення навчальних добірок цифрових копій історичних документів із зазначенням походження, авторства й дати. До них можуть входити звіти дослідних установ, навчальні плани, біографічні матеріали та фотографії. Така робота сприятиме збереженню наукової пам’яті й розвитку навичок джерелознавчого аналізу. Її освітню результативність доцільно оцінювати за якістю студентських досліджень, а не лише за кількістю оцифрованих матеріалів.

Отже, становлення аграрної освіти і науки на Полтавщині охоплює взаємопов’язані процеси розвитку польового дослідження та фахової підготовки. Історичний досвід регіону має цінність як джерело для вивчення організації наукової праці та передавання знань. Його використання в освіті передбачає критичний аналіз джерел, збереження документальної спадщини й обґрунтоване зіставлення історичних практик із сучасними завданнями аграрного виробництва.

Список використаних джерел

1. Глущенко Л., Олепір Р., Сокирко М. Полтавська державна сільськогосподарська дослідна станція імені В. І. Вавилова: шлях довжиною у 140 років. Історія науки і біографістика. 2024. № 3. С. 330–348. DOI: https://doi.org/10.31073/istnauka202403-16.
2. Кигим С. Л., Самородов В. М. Фундатори і перші очільники Полтавського краєзнавчого музею імені Василя Кричевського та Полтавське дослідне поле: з історії співпраці. Сільськогосподарська наука від «українського Ротамстеду» до сьогодення : зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 31 жовт. 2024 р.). Полтава, 2024. С. 36–40.
3. Полтавський державний аграрний університет відзначив своє 105-річчя. Полтавський державний аграрний університет. 02.10.2025. URL: https://www.pdau.edu.ua/news/poltavskyy-derzhavnyy-agrarnyy-universytet-vidznachyv-svoye-105-richchya
4. Четверті Сазановські читання:Аграрна наука і освіта: постаті, здобутки, перспективи : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., присвяченої 105-річчю заснування ПДАУ та Навчально-наукового інституту агротехнологій, селекції та екології (Полтава, 25 берез. 2025 р.). Полтава : РВВ ПДАУ, 2025. 90 с.

60-РІЧЧЯ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАЛІВ ТА ІНШИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ. ІСТОРІЯ, ДОСЯГНЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ

Лапенко Г.О., Ляшенко С.В., Горбенко О.В., Лапенко Т.Г., Лазоренко А.І.
Полтавський державний аграрний університет

У 1966 році в Полтавському сільськогосподарському інституті відкрито факультет механізації сільського господарства для підготовки інженерів-механіків сільського господарства. Цього ж року організовано кафедру технології металів та інших конструкційних матеріалів, яку очолив **Жолтишев Петро Іванович**, к.т.н., доцент, що був аспірантом кафедри аграрної механіки Петра Мефодійовича Василенка. Досліджував типи і параметри робочих органів культиваторів для міжрядного обробітку просапних культур на торфяно-болотистих ґрунтах Полісся. Захистив дисертацію у 1955 році в Українській сільськогосподарській академії.

Викладачами стали доцент Валуєв О.П., старший викладач Мірошніченко В.А., асистент Зеленський Ю.О., завідувачем лабораторіями призначили Журавльова В. М., навчальним майстром Васькову Т.А., старшим лаборантом Васильченко В.О. Під лабораторії та навчальні аудиторії кафедрі виділили приміщення для утримання тварин зоотехнічного факультету. Члени кафедри разом із першим набором студентів (їх було 50 осіб) працювали вдень, а іноді і вночі для підготовки приміщень, приведення їх до належного

естетичного стану. Другою не менш важливою задачею було придбання та встановлення відповідного обладнання, верстатів, стендів та ін.



Жолтишев Петро Іванович,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри 1966-1971 рр.

Усі ці роботи виконувались паралельно з будівництвом нового навчального корпусу факультету механізації сільського господарства. У цей же час велася велика робота на кафедрі по методичному забезпеченню навчального процесу та проведення практик. Базами для проведення заводських практик стали Полтавський турбомеханічний завод, Кременчуцький автомобільний завод та Харківський тракторний завод. У перші п'ять років після відкриття кафедри було вирішено основні завдання з налагоджування навчального процесу, почалася наукова робота на кафедрі і першим аспірантом кафедри став Мізін І.А., керівником якого був Валуєв О.П.

У 1971 році кафедру очолив **Валуєв Олексій Петрович**, к.т.н., доцент. Співробітниками кафедри стали к.т.н., доценти Дудніков А.А., Прохоров М., асистенти Соловей С.Г., Гладка Л.П., викладачі Лапенко Г.О., Шевельов М.О., Безгін М.В.

Кафедра почала проводити велику наукову роботу направлену на підготовку висококваліфікованих спеціалістів.

Наукові дослідження проводились з бюджетної та госпдоговірної тематики. Головним організатором і керівником декількох тем був завідуючий кафедрою Валуєв О.П., виконавцями були члени кафедри та кращі студенти. Основними напрямками роботи були: «Дослідження надійності та довговічності деталей самохідного шасі СШ-75», «Дослідження роботоздатності закритих форсунок дизелів сільськогосподарських тракторів з відремонтованими розпилювачами», «Дослідження стану зносу корпусних деталей тракторів з метою обгрунтування методів і засобів їх контролю на ремонтних підприємствах «Сільгосптехніка», «Дослідження впливу сульфідування і

сульфомолібденування на припрацювання і зносостійкість деталей автотракторних двигунів в умовах сільського господарства», «Відновлення деталей сільськогосподарської техніки гальванічним покриттям на Шишацькому ремонтно-транспортному підприємстві Полтавської області».



Валуєв Олексій Петрович,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри 1971-1988 рр.

Керівником наукової теми «Випробування деталей на стійкість до зношування і відновлення та зниження її собівартості в процесі ремонту» став к.т.н. Дудніков А.А.

На замовлення Укрцукропрому на кафедрі виконувалась робота «Розробка висадкосадильної машини для висаджування коренеплодів цукрового буряка» керівниками якої були Гаркуша І.Я. та Лапенко Г.О. По цій темі крім названих керівників працювали Абанькін С., Михайлик В.У., Назаренко В.І., Стефанцова Т. Результатом успішної роботи стала модернізована висадкосадильна машина ВПГ-4М, яка пройшла відомчі та державні випробування.

За матеріалами виконання наукових досліджень на кафедрі захистили кандидатські дисертації Зеленський Ю.О. (1975р.) і Мізін І.А. (1977р.) (керівник к.т.н. Валуєв О.П.), Лапенко Г.О. (1980р.) (керівник д.т.н Омельченко О.О.).

Паралельно з навчальною та науковою роботою після здачі в експлуатацію навчального корпусу факультету механізації відбувалось удосконалення матеріально-технічної бази кафедри шляхом розширення навчальних аудиторій, придбання нового обладнання, інструменту, верстатів.

У 1988 році кафедру очолив випускник факультету механізації першого набору к.т.н., доцент **Лапенко Григорій Олександрович**, який поставив головним завданням роботи кафедри підготовку наукових кадрів для інженерно-технологічного факультету. Велика група кращих випускників стали працювати над дисертаційними роботами в якості аспірантів та здобувачів під керівництвом

к.т.н., доцента Дуднікова А.А. Це були Іванкова О.В., Лапенко Т.Г., Ківшик О.П., Біловод О.І., Горбенко О.В., Канівець О.В., Дудник В.В., Келемеш А.О., Пасюта А.Г.



Лапенко Григорій Олександрович,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри 1988-2011 рр.

Асистенти Падалка В.В., Ляшенко С.В. готували дисертаційні роботи під керівництвом д.т.н., професора Бабицького Л.Ф., який працював на кафедрі за сумісництвом.

Лоєнко В.В. – також випускник факультету механізації сільського господарства. Під керівництвом доцента Сакала Л.Г. він повторно захистив дисертацію в Україні.

Таким чином, велика наукова робота проведена на кафедрі в кінці минулого та на початку теперішнього століття забезпечила якісний потенціал співробітників не тільки кафедри, а й інженерно-технологічного факультету в цілому.

За матеріалами досліджень кафедри підготовлені та захищені кандидатські дисертації під керівництвом к.т.н., доцента Дуднікова А.А.: Іванкова О.В. (1995р.), Ківшик О.П. (1997р.), Лапенко Т.Г. (2004р.), Біловод О.І. (2008р.), Горбенко О.В. (2010р.), Лоєнко В.В. (1999р.) під керівництвом к.т.н. Сакала Л.Г., Падалка В.В. (2010р.) та Ляшенко С.В. (2012р.) під керівництвом д.т.н. професора Бабицького Л.Ф.

У 1991 році кафедра отримала назву ремонту машин і технології конструкційних матеріалів. На ній викладали дисципліни: «Ремонт машин», «Надійність машин», «Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», «Організація робіт підприємств технічного сервісу», «Проектування

технологічних процесів сервісних підприємств», «Технологій ремонту машин», «Надійність технологічних систем», «Інтелектуальна власність», «Стандартизація і сертифікація техніки», «Основи технологічної творчості», «Патентознавство», «Інженерний менеджмент». Велася значна методична робота, видавалися методичні посібники, підручники.

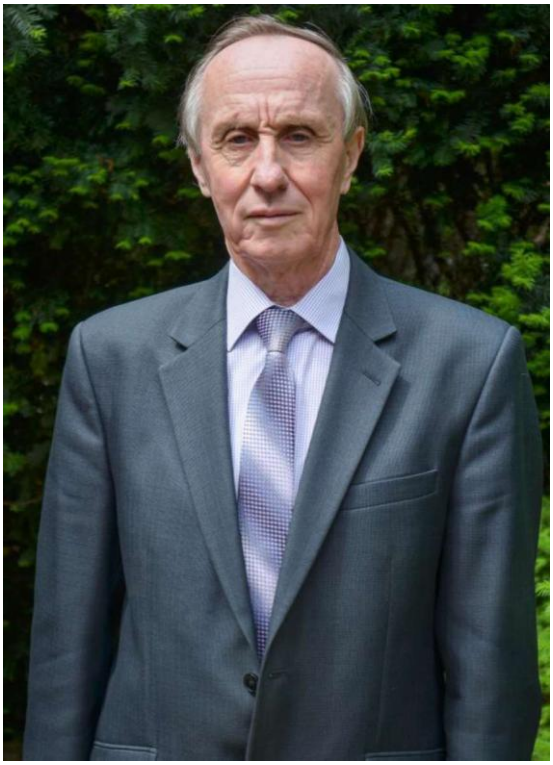
З приходом на кафедру к.т.н. доцента Прасолова С.Я. значно зросла кількість патентів на наукові винаходи.

Працювало декілька студентських наукових гуртків під керівництвом Дуднікова А.А., Лапенка Г.О., Прасолова С.Я., Горбенка О.В., Іванкової О.В. Студентські наукові роботи займали призові місця на багатьох міжнародних конкурсах. У 2010 році кафедра мала такий склад професорсько-викладацького і допоміжного персоналу: завідувач кафедрою, доцент, к.т.н. Лапенко Г.О., професор, к.т.н. Дудніков А.А., доцент, к.т.н. Іванкова О.В., доцент, к.т.н. Садовніков В.К., доцент, к.т.н. Лоєнко В.В., доцент, к.т.н. Зеленський Ю.О., доцент, к.т.н. Прасолов С.Я., асистенти Безгін М.В., Соловей С.Г., Падалка В.В., Горбенко О.В., Ляшенко С.В., Левошко Н.В., завідувач лабораторіями Тесленко Л.І., майстри виробничого навчання Сабадаш В.В., Ксенчук М.В., Супрун А.В., Лебедь В.А., лаборант Роман М.В. Усього професорсько-викладацького персоналу – 12 осіб, допоміжного персоналу – 6 осіб.

Кафедра стала найбільш потужною на факультеті як за кількістю , так і за якісним складом. Завідувач кафедри, доцент Лапенко Г.О. за високі показники у навчальній, методичній та науковій роботі був нагороджений знаками «Відмінник аграрної освіти та науки» (2005р.), «Знак пошани» Мінагрополітики України (2001р.), «Почесна грамота Полтавської обласної ради» (2005р.), «Відмінник технічної служби 2003» Мінагрополітики України. У 2006 році указом президента України Лапенку Г.О. присвоєно звання «Заслужений працівник освіти України».

З 2011 року кафедру очолив професор **Дудніков Анатолій Андрійович** – засновник та очільник авторської наукової школи «Підвищення довговічності та надійності сільськогосподарської техніки відновленням деталей вібраційним методом». Автор понад 300 наукових статей у фахових виданнях України та за її межами, у тому числі 12-и підручників і навчальних посібників, із яких підручник «Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання» з грифом Міністерства освіти і науки України використовується як підручник для здобувачів вищої освіти вищих навчальних закладів, а також підручник «Проектування технологічних процесів сервісних підприємств» для здобувачів ступеню вищої освіти Магістр.

Професор Дудніков А.А. брав активну участь у розробці програм ступеневої освіти та її адаптації до програм провідних університетів розвинутих країн світу. Під керівництвом професора Дуднікова А.А. захистили кандидатські дисертації: Іванкова О.В. (1995р.), Ківшик О.П. (1997р.), Лапенко Т.Г. (2004р.), Біловод О.І. (2008р.), Горбенко О.В. (2010р.), Дудник В.В. (2012р.), Канівець О.В. (2012р.), Келемеш А.О. (2013р.), Пасюта А.Г. (2015р.).



Дудніков Анатолій Андрійович,
к.т.н., професор, завідувач кафедри 2011-2018 рр.

Очолюючи наукову школу, професор Дудніков А.А. підтримував тісні ділові та наукові стосунки із вченими провідних університетів Польщі, Болгарії, Молдови.

У 2017 році кафедра отримала назву технологій та засоби механізації аграрного виробництва.

З 2018 по 2020 рік кафедру очолював професор **Шейченко Віктор Олександрович**, який за період професійної діяльності мав 224 публікацій, з них 217 наукових та 7 навчально-методичного характеру, у тому числі 118 наукових праць, опубліковані у вітчизняних і міжнародних рецензованих фахових виданнях, 21 патент України. Професор Шейченко В.О. є членом редакційної колегії та рецензентом журналів: «Research in Agricultural Engineering» (Чехія); «Eastern European Journal of Enterprise Technologies»; «Механізація та електрифікація сільського господарства» Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». Також є членом спеціалізованих вчених рад, головою експертних комісій за результатами проведеної первинної акредитаційної експертизи освітньо-професійних програм.

Під керівництвом Шейченка В.О. захистили кандидатські дисертації: Маринченко І.О., спеціальність 05.18.02 – технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб’яних культур (2016р.) та Шевчук М. В., спеціальність 133 Галузеве машинобудування (2019р.).



Шейченко Віктор Олександрович,
д.т.н., старший науковий співробітник, професор, завідувач кафедри
2018-2020 рр.

З вересня 2020 року до листопада 2024 року кафедру очолював кандидат технічних наук, доцент **Горбенко Олександр Вікторович**. Цей період став важливим етапом у подальшому розвитку кафедри та вдосконаленні освітньої діяльності. Однією з визначальних подій стала перша акредитація освітньої програми «Технології і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» другого (магістерського) рівня зі спеціальності 208 «Агроінженерія», проведена Національним агентством із забезпечення якості вищої освіти. Успішне проходження акредитації підтвердило належний рівень організації освітнього процесу, кадрового, матеріально-технічного та методичного забезпечення, а також відповідність освітньої програми встановленим вимогам.

Важливим напрямом роботи кафедри в цей період стало налагодження та розширення системної співпраці з роботодавцями, підприємствами аграрного сектору, науковими установами та організаціями. Було укладено низку договорів та угод про науково-виробниче, науково-технічне та професійне співробітництво. Серед партнерів кафедри: ПДСГДС ім. М.І. Вавилова Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН, ДП ДГ «Степне», ТОВ «АГРІСТАР», Інститут луб'яних культур НААН України, ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», ТОВ «Агрофірма «ім. Довженка», ТОВ «Агротехсервіс», ТОВ «Інженерно-технічна фірма «Технологія», ТОВ «ЕРІДОН ТЕХ», а також підприємства автомобільного сервісу та машинобудівного профілю.

Розширення партнерської мережі сприяло посиленню практичної спрямованості підготовки здобувачів вищої освіти, врахуванню потреб роботодавців під час удосконалення освітньої програми, розвитку баз практичної підготовки та поглибленню зв'язку освітнього процесу з реальними потребами аграрного виробництва. Водночас співпраця з науковими установами

створювала додаткові можливості для розвитку наукової та науково-технічної діяльності кафедри.

У цей період відбулося посилення та інтенсифікація науково-дослідної діяльності кафедри. Зокрема, було виконано науково-дослідну роботу «Проведення комплексу досліджень по удосконаленню машинно-технологічних систем та процесів сільськогосподарського виробництва» (державний реєстраційний номер 0121U110048). Розширилася практика виконання госпдоговірних науково-дослідних тем та державної реєстрації наукових досліджень в УкрІНТЕІ. Посилилася патентна діяльність кафедри, зокрема за напрямом обґрунтування енергозберігаючої технології сушіння зерна, результати досліджень за яким знайшли відображення у патентах України на корисні моделі. Наукова діяльність кафедри дедалі більше набувала прикладного характеру, орієнтуючись на розв’язання актуальних проблем механізації та енергоефективності сільськогосподарського виробництва.



Горбенко Олександр Вікторович,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри 2020-2024 рр.

Окремим напрямом розвитку кафедри в цей період стало започаткування освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Її відкриття розширило напрями підготовки фахівців кафедри та сприяло розвитку автомобільно-транспортного напряму її освітньої діяльності. Запровадження нової освітньої програми відповідало потребам регіонального ринку праці та стало ще одним кроком у зміцненні

зв'язків кафедри з підприємствами автомобільного транспорту, сервісу й технічного обслуговування транспортних засобів.

Таким чином, період керівництва Горбенка О.В. характеризувався посиленням орієнтації кафедри на забезпечення якості вищої освіти, розвиток практичної складової підготовки фахівців та поглиблення співпраці із зовнішніми стейкголдерами, насамперед роботодавцями.

З 2024 по теперішній час кафедру очолює к.т.н., доцент **Ляшенко Сергій Васильович**, який за період професійної діяльності має 65 публікацій, з них 49 наукових та 16 навчально-методичного характеру, крім того три монографії, два навчальних посібника, 18 патентів України. Ляшенко С.В.. є членом редакційної колегії та рецензентом журналу: «Сільськогосподарські машини» (Україна) Луцький національний технічний університет, Журнал входить до переліку друкованих періодичних видань, що включені до Переліку наукових фахових видань України за спеціальностями 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» (категорія «Б», наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.), також Журнал публікує статті за спеціальністю 205 «Лісове господарство». Крім того, Ляшенко С.В. є експертом Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти, освітньо-професійних програм 208 Агроінженерія, 133 Галузеве машинобудування, 201 Агрономія. Отримав сертифікат про підвищення кваліфікації в «Люблінському університеті технологій», м. Люблін, Республіка Польща за спеціалізацією: «Неформальна освіта у підготовці бакалаврів та магістрів в країнах Європейського Союзу та Україні» (2024 р).

Сьогодні кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту Полтавського державного аграрного університету є структурним підрозділом, діяльність якого спрямована на забезпечення якісної професійної підготовки фахівців для аграрного виробництва та транспортної галузі, розвиток наукових досліджень і впровадження сучасних інженерно-технологічних рішень у практику.

Метою освітньої діяльності кафедри є формування професійно компетентних фахівців, здатних здійснювати інженерно-технологічну діяльність, розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, приймати обґрунтовані технічні рішення й адаптуватися до динамічних змін у відповідних галузях.

Принциповою особливістю діяльності кафедри є інтеграція освіти, науки та виробничої практики. Підготовка здобувачів орієнтована не лише на засвоєння теоретичних положень, а й на формування інженерного способу мислення, здатності аналізувати технічні системи, оцінювати ефективність технологічних рішень, працювати із сучасним обладнанням і програмними засобами та здійснювати професійне самовдосконалення.

Кафедра забезпечує освітню діяльність за такими спеціальностями:

1. H7 «Агроінженерія» - підготовка фахівців у сфері проєктування, експлуатації, технічного сервісу та управління сучасними машинно-технологічними комплексами, механізації й автоматизації аграрного

виробництва;

2. J8 «Автомобільний транспорт» - підготовка фахівців з експлуатації, технічного обслуговування, діагностування, ремонту та організації ефективного функціонування автомобільного транспорту.



Ляшенко Сергій Васильович,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри 2024 - по теперішній час.

Освітня підготовка здійснюється з урахуванням актуальних вимог ринку праці та тенденцій технологічного розвитку. Важливе місце посідає практикоорієнтоване навчання, яке реалізується шляхом співпраці з підприємствами аграрного сектору, транспортними та сервісними організаціями, виробниками сільськогосподарської й автомобільної техніки, а також іншими стейкхолдерами.

Упродовж останніх років діяльність кафедри характеризувалася послідовним розвитком освітньої, науково-дослідної та практичної складових.

Одним із пріоритетних напрямів стало розширення взаємодії з роботодавцями та професійним середовищем, що сприяло підвищенню практичної спрямованості освітнього процесу, удосконаленню змісту освітніх компонентів і розширенню можливостей для виробничої практики здобувачів.

Суттєво посилено цифрову складову освітнього процесу. У навчанні використовуються сучасні електронні та програмно-імітаційні засоби, зокрема система електронного навчання ELECTUDE, симулятор John Deere Operations Center™, програмні середовища Electronics Workbench і Qucs-S Simulator, а

також навчальне середовище Moodle. Їх застосування забезпечує моделювання професійних ситуацій, підвищує наочність навчання та сприяє формуванню цифрової компетентності майбутніх інженерів.

Важливим напрямом стало розширення тематики наукових досліджень у сфері технічного сервісу, експлуатаційної надійності, діагностування, відновлення та модернізації сільськогосподарської техніки, удосконалення машинно-технологічних комплексів і підвищення ефективності використання технічних ресурсів.

Викладачі та здобувачі освіти беруть участь у науково-практичних конференціях, професійних заходах, дослідницьких проєктах та інших формах академічної і професійної взаємодії. Це забезпечує інтеграцію результатів наукової діяльності в освітній процес та сприяє розвитку дослідницьких компетентностей здобувачів.

Особливе значення для підвищення якості професійної підготовки має модернізація матеріально-технічного та навчально-методичного забезпечення кафедри.

Важливим результатом партнерської взаємодії стало співробітництво Полтавського державного аграрного університету з європейським виробником сільськогосподарської техніки BEDNAR та його офіційним дилером в Україні In Force Group. У межах цієї співпраці 16 листопада 2025 року на інженерно-технологічному факультеті відкрито аудиторію BEDNAR.

Створений освітньо-практичний простір розширив можливості для проведення лабораторних і практичних занять, професійних тренінгів та наукових досліджень. Здобувачі освіти отримали можливість вивчати конструктивні особливості сучасних машин, технології обробітку ґрунту, посіву та внесення добрив, а також принципи експлуатації високопродуктивних машинно-технологічних комплексів.

Розвиток матеріально-технічної бази доповнюється безпосередньою взаємодією з виробничими підприємствами, сервісними центрами та представниками бізнесу. Такий підхід дає змогу наближати зміст професійної підготовки до реальних технологічних умов та актуальних вимог роботодавців.

Окремим напрямом діяльності стало створення умов для доступності професійної освіти та практичної підготовки різних категорій населення.

На базі університету започатковано діяльність «Безбар'єрної автошколи» - восьмої в Україні та першої в Полтаві, спрямованої на забезпечення можливостей навчання водінню для осіб з інвалідністю та ветеранів війни.

Реалізація цього проєкту передбачає створення відповідних організаційних і матеріально-технічних умов для набуття практичних компетентностей, професійної адаптації та розширення можливостей подальшої соціальної й професійної інтеграції.

Діяльність у цьому напрямі відповідає принципам безбар'єрності та концепції створення рівних можливостей для навчання, професійної реалізації й участі в суспільному житті. Для кафедри безбар'єрність розглядається не лише як вимога до інфраструктури, а як комплексний принцип організації освітнього

середовища.

Викладачі кафедри проводять систематичну та грунтовну співпрацю зі стейкхолдерами освітніх програм спеціальності H7 Агроінженерія, та J8 Автомобільний транспорт, що відображено на сторінці кафедри (https://surl.li/fihcno) та у Facebook (https://surl.li/pkyuye).

Колектив кафедри послідовно зберігає та розвиває багаторічні наукові й освітні традиції, сформовані кількома поколіннями учених та інженерно-технічних фахівців. Поєднуючи накопичений досвід із сучасними підходами, науково-педагогічні працівники кафедри продовжують розвиток наукової школи, здійснюють комплексні дослідження та працюють над актуальними науково-технічними проблемами за широким спектром напрямів.

УДК 378:631.3(477):929(477.53)

ВНЕСОК УРОДЖЕНЦІВ ПОЛТАВЩИНИ В ІНЖЕНЕРНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ АПК УКРАЇНИ

Опара Н. М.

Полтавський державний аграрний університет

Полтавщина по праву вважається колискою української культури та науки, яка подарувала світові десятки видатних винахідників, вчених та мислителів.

Саме тут народилися та працювали люди, які змінили уявлення про різноманітні аспекти нашого життя.

Зупинимося на інформації про кілька найвизначніших наукових діячів, що працюють або працювали в галузі землеробської механіки і чия доля нерозривно пов’язана з Полтавським краєм

5 лютого цього року виповнилось 146 років від дня народження Володимира Борисовича Бабука (23 січня (5 лютого) 1910р. – 17 серпня (за іншими даними 20 серпня 1978 р.). Народився Володимир Борисович у селі Кроки Полтавської губернії. Цей видатний український вчений у галузі механізації сільського господарства, кандидат технічних наук та член-кореспондент ВАСГНІЛ (з 1956 року).

Протягом багатьох років він відігравав ключову роль у розбудові аграрної науки України та впровадженні новітньої сільськогосподарської техніки.

З 1943 по 1960 роки очолював Український науково-дослідний інститут механізації та електрифікації сільського господарства (УНДІМЕСГ), зробивши вагомий внесок у його становлення та розвиток у повоєнний період.

З 1967 по 1970 роки очолював Всесоюзний науково-дослідний інститут приладів та техніки вимірювань у сільському господарстві.

Наукові дослідження та праці В.В. Бабука були присвячені вдосконаленню системи МТС, підвищенню ефективності використання тракторного парку та розробці нових технологій механізації сільськогосподарського виробництва.

Основним напрямом наукової діяльності було створення приладів і засобів вимірювання для наукових досліджень та їх використання в сільському господарстві. Відомий дослідженнями питань експлуатації та ремонту сільськогосподарської та тракторної техніки.

За безпосередньої участі та під його керівництвом розроблені та впроваджені у виробництво нові технології ремонту тракторів різних марок. Було вдосконалено методи ремонту, розпочато розв'язання проблеми цілорічного ремонту техніки. Були сформульовані наукові основи створення коксагизної коренезбиральної машини, створена машина оригінальної конструкції. Він є автором близько 150 наукових праць (серед них 16 книг і брошур).

Серед його відомих публікацій – монографія «Тракторы и сельскохозяйственные машины Англии, США и Канады»(1959), де детально аналізувався передовий іноземний досвід машинобудування.

Був одним із засновників Української академії сільськогосподарських наук (УАСГН), де входив до складу Президії як академік – секретар провідника галузевих відділень. Помер учений у Києві, де й похований.

19 серпня 2026 року виповнилося 85 з дня народження Мазоренко Дмитра Івановича, уродженця села Пустовійтове Глобинського району (нині Кременчуцький район) Полтавської області.

Дмитро Іванович – вчений у галузі землеробської механіки, механізації сільського господарства та сільгоспмашинобудування, організатор вищої школи, член-кореспондент НААН, заслужений працівник освіти України, академік Інженерної академії України, Міжнародної академії наук вищої школи та Міжнародної академії аграрної освіти, кандидат технічних наук, професор.

Упродовж 1976-1981 років – завідувач кафедри деталей машин і підйомно-транспортних машин, 1981-1991 роки – проректор з навчально-виховної роботи ХІМЕСГ.

1991-1996 роки – перший проректор спочатку інституту, а з 1993 року _ Харківського державного технічного університету сільського господарства (ХДГТУСГ).

З 1996 року - ректор Харківського державного технічного університету сільського господарства, а з 2004- по 01.10.2012 - Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ).

З 02.10.2012 – радник ректора Державного біотехнологічного університету до складу якого увійшов ХНТУСГ.

З грудня 2002 року – член-кореспондент УААН, , відділення механізації та електрифікації сільського господарства.

Дмитро Іванович є автором більше 350 наукових праць (23 монографій, 29 підручників та навчальних посібників).

Під його керівництвом захищено 3 докторських і 9 кандидатських дисертації.

З 2003-2012 роки був Головою Асоціації працівників аграрних закладів вищої освіти України, Член Правління Української асоціації аграрних інженерів,

головний редактор ряду наукових видань, член Правління Євро-Азіатської Асоціації з сільськогосподарської інженерії.

Дмитро Іванович є автором та співавтором 62 патентів України на винаходи та корисні моделі, зокрема спеціалізованих машин для внесення сипучих мінеральних добрив.

29 серпня (10 вересня) 2026 року виповнилося 133 роки з дня народження Медведєва Михайла Івановича. Уродженця м. Кобеляки – видатного українського науковця, фахівця у галузі тракторобудування та механізації сільського господарства.

Михайло Іванович – фундатор української наукової школи спеціалістів із гусеничних ходових систем. Доктор технічних наук (1958), професор (1938), академік ВАСГНІЛ (1961).

У 1930році став засновником і першим в Україні завідувачем кафедри тракторобудування ХПІ, якою керував до 1961 року.

З 1950-1961 роки додатково обіймав посаду декана факультету тракторного і сільськогосподарського машинобудування (пізніше – автотранспортного).

З 1961-1964 роки працював заступником директора з наукової роботи в Українському науково-дослідному інституті механізації та електрифікації сільського господарства.

Вчений зробив фундаментальний внесок у теорію тракторо- та танкобудування СРСР. Він розробив базові рекомендації щодо підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки та опублікував низку класичних підручників, серед яких «Теорія трактора» (1932), «Теория гусеничних систем» (1934), «Конструирование трактора», «Альбом по гусеничным системам».

Його напрацювання стали основою для проєктування та оптимізації ходових систем радянських танків першого та другого післявоєнних поколінь.

У 1956 році створив галузеву лабораторію з тракторобудування. Засновник української школи спеціалістів з гусеничних ходових систем тракторів і транспортних машин.

Розробив низку рекомендацій з ефективного використання сільськогосподарських тракторів. Опублікував понад 200 наукових праць, які дістали високу позитивну оцінку спеціалістів і понині мають велике практичне значення.

Мав пріоритет у створенні теорії гусеничних тракторів і багатьох послідовників у своїй науковій школі. Під його керівництвом підготовлено 15 кандидатів наук.

Ім’я вченого нерозривно пов’язано зі становленням первістків вітчизняного тракторобудування: ХПЗ - завод ім. Малишева та ХТЗ.

Протягом багатьох років професор М.І. Медведєв був їх консультантом.

Список використаних джерел

1. Мазоренко Дмитро Іванович : біобібліогр. покажчик праць за 1969–2021 роки / уклад.: Е. М. Бочарова, О. І. Бараболік, Т. Б. Богданова ; наук. ред. Н. М. Ніколаєнко ; Наук. б-ка ХНТУСГ. Харків, 2021. 134 с. (Серія: «Біобібліографія вчених ХНТУСГ» ; вип. 16).
2. Медведєв Михайло Іванович // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] редкол: І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк [та ін]; НАНУКраїни, , НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. Режим доступу : Стаття «Медведєв Михайло Іванович» в ЕСУ.

УДК 631.3(092)”17/18”

КАМІЛЛ ШИНДЛЕР: ПОВЕРНЕННЯ В УКРАЇНУ

Ямков О. В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Професор Камілл Гаврилович Шиндлер є знаним фахівцем у галузі сільськогосподарських машин як в Україні, так і за її межами. У 1899 – 1911 рр. він працював у створеному у 1898 р. Київському політехнічному інституті. З 1919 р. перебував в еміграції, зокрема з 1921 р. у Чехословаччині, м. Прага. Помер К.Г. Шиндлер, як вказується в історико-біографічних джерелах, наприклад, [3, 4], у 1940 р. у Празі і похований на Ольшанському кладовищі. Відомості ж про точні, документально підтверджені, дату та місце смерті, точне місце поховання в цих джерелах відсутні.

Враховуючи великий науковий і практичний внесок К.Г. Шиндлер, його учнів та послідовників у розвиток землеробських машин і знарядь, становлення випробувальної справи в Україні, а також у започаткування діяльності сучасного Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України), вбачається важливим встановлення невідомих фактів його біографії.

Аналіз останніх досліджень. Камілл Гаврилович Шиндлер народився 15 червня 1869 р. у м. Твер [3, 4], в родині громадян Швейцарії, і сам перебував у такому ж статусі все життя. Найбільш продуктивний і плідний період його діяльності – це 90-ті рр. XIX – 30-ті рр. XX ст. У 1899 – 1911 рр. він працював у створеному у 1898 р. Київському політехнічному інституті з сільськогосподарським відділенням у його складі (нині це Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»). К.Г. Шиндлер по праву вважається одним із тих, хто започатковував його діяльність, а разом і нашого сучасного Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України).

Під час роботи у Київському політехнічному інституті К.Г. Шиндлер був деканом сільськогосподарського відділення (1904 – 1906 рр.), деканом механічного відділення (1908 – 1911 рр.), читав курс механіки на сільськогосподарському відділенні та курс сільськогосподарського машинобудування на механічному відділенні [2 – 5], де готували інженерів-

механіків широкого профілю, у тому числі і для роботи у галузі сільськогосподарського машинобудування. Широко відомими серед фахівців є його праці, зокрема такі, як «Политипажи, эскизы и чертежи машин-орудий современнаго сельского хозяйства» (1902), «Машины-орудия современнаго сельского хозяйства» (1904), «Теория и конструкция пахотных орудий» (1904), «Теория плуга» (1906) та ін. Створена К.Г. Шиндлером у 1900 р. при Київському політехнічному інституті станція для випробувань землеробських машин і знарядь [3] дала початок становленню випробувальної справи в Україні.

У 1919 р. К.Г. Шиндлер з дружиною емігрував за кордон, а у 1921 р. переїхав до Чехословаччини до м. Прага [3]. Тут К.Г. Шиндлер займався викладацькою роботою, зокрема був запрошений до Української господарської академії в м. Подєбради, що за 60 км від Праги [1, 3], де працював на посаді професора кафедри машинознавства Агрономічно-Лісового факультету у 1923 – 1926 рр., а також науковою роботою, зокрема написанням важливих праць з машинознавства та землеробських машин і знарядь. Результати діяльності професора К.Г. Шиндлер та його учнів і послідовників [4], стали міцним підґрунтям становлення і успішної роботи сучасної кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України.

Мета досліджень – знайти точну, документально підтверджену інформацію про дату смерті (число, місяць, рік), місце смерті та місце поховання професора К.Г. Шиндлер.

Результати досліджень. Для досягнення поставленої мети була здійснена поїздка до Чехії, до м. Прага та м. Подєбради. Поїздка до Подєбрад мала на меті знайти документальні матеріали про діяльність тут Української господарської академії у 1922-1935 рр., в яких були б відомості і про К.Г. Шиндлер, який працював в академії на викладацькій роботі у 1923-1926 рр. Однак виявилося, що усі архівні матеріали після 1945 року були вивезені до Радянського Союзу. У Празі пошуки на Ольшанському кладовищі, на якому, за попередніми даними, був похований К.Г. Шиндлер, за відсутності необхідної інформації про розташування поховання, позитивних результатів не дали. Пошуки, для більшої достовірності, і на Малостранському кладовищі, мали такий же результат. Але завдяки налагодженій у Празі співпраці зі співробітниками архіву Карлового університету та істориками, які займались питаннями діяльності емігрантів з Російської імперії в Чехословаччині у 1920-х та 1930-х роках, зокрема з публіцисткою, історикинею, педагогом пані Анастасією Копршивовою (Anastázie Kopřivová, народилась у Празі у 1936 р.), вдалось встановити факти біографії К.Г. Шиндлер, які і були метою пошуків. Зокрема відповідь з Карлового університету допомогла знайти Internet-ресурси з інформацією, що К.Г. Шиндлер помер у Празі 4 жовтня 1940 року і похований на Ольшанському кладовищі, відділення №2, сектор №19, могила №185, похований разом зі своєю дружиною – Єлизаветою Афанасіївною, яка померла 31 серпня 1927 р. [3]. У подальшому, і це головне, виявлені і документальні докази цим «інтернетним» фактам, а саме, в Слов'янській бібліотеці Праги був знайдений важливий документ – некролог на смерть К.Г. Шиндлер, в якому повідомляється, що «4.10.1940 р. в Брно, після хвороби, у віці 71 року помер інженер Каміл Гаврилович Шиндлер. … Тіло було перевезене до Праги і віддане землі на

Ольшанському кладовищі». А надане пані Анастасією Копршивовою оригінальне фото кінця 1920-х років з власного архіву, з К.Г. Шиндлером біля могили своєї дружини, з чітко видимим номером могили – 185, підтверджує попередньо виявлені відомості і незаперечно вказує на її місцезнаходження у секторі №19 відділення №2 кладовища. Залишалось лише одне – знайти саму могилу на кладовищі. Це вдалося здійснити під час чергової поїздки до Праги у грудні 2025 р., де відбулась уже особиста зустріч з пані Анастасією Копршивовою, під час якої була відтворена схема ведення рахунку могилам. І 30 грудня 2025 року, об 11:15 за місцевим часом, могила Камілла Гавриловича Шиндлера та Єлизавети Афанасіївни Шиндлер була знайдена.

Отже, тепер можна сказати, що професор К.Г. Шиндлер, через більш ніж століття після виїзду в еміграцію у далекому 1919 році, повернувся до України, повернувся зі своїм життєписом з документально встановленими в ньому фактами тодішнього чехословацького, завершального періоду свого життя.

Висновки. В результаті пошукової роботи, проведеної в м. Подєбради та м. Прага (Чехія) з метою знаходження точної, документально підтвердженої інформації про дату смерті (число, місяць, рік), місце смерті та місце поховання професора К.Г. Шиндлер встановлено, що К.Г. Шиндлер помер 4 жовтня 1940 р. в м. Брно (Чехія) у віці 71 року. Тіло було перевезене до м. Праги і віддане землі в одній з дружиною, Єлизаветою Афанасіївною, могилі за №185, сектор №19, відділення №2 Ольшанського кладовища м. Праги. Могила на Ольшанському кладовищі також знайдена.

Список використаних джерел

1. Українська висока політехнічна школа на чужині. Том І. Українська господарська академія в Ч.С.Р. 1922–1935 / Видано Абсольвентами Української Господарської Академії та Українського Технічно-Господарського Інституту. – Нью-Йорк: [б. в.], 1959. – 248 с.

2. Вергунов В.А. Професор Шиндлер Камілл Гаврилович (1869–1940) – громадянин Швейцарії, що прославив науково-освітню складову України : наук. доповідь / Вергунов В.А.; НААН України, Нац. наук. с.-г. бібліотека, Ін-т історії аграр. науки, освіти та техніки; відп. ред. Вергунов В. А. – Київ: Ямчинський О.В., 2019. – 39 с.

3. Вергунов В.А., Мудрук О.С., Шквира З.А. Камілл Гаврилович Шиндлер (1869–1940) / НААН України, ННСГБ, Ін-т історії аграр. науки, освіти та техніки; відпов. ред. Сєнченкова Є.М.; наук. ред. Вергунов В.А. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. – 180 с.

4. Вергунов В.А. Освітньо-наукова агроінженерна думка в Національному університеті біоресурсів і природокористування України в перші двадцять років існування (до 125-річчя кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. академіка П.М. Василенка). – 2-ге вид-ня, доп. і перероб. / В.А. Вергунов; НААН, ННСГБ, Ін-т історії аграрної науки, освіти і техніки. – Київ: НУБіП України, 2023. – 112 с.

5. Київський політехнічний інститут. Нарис історії / Бєляков Г.Ф., Василенко Є.С., Вілков М.Ф. та ін. – Київ: Наукова думка, 1995. – 328 с.

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

УДК 631.371:628.978:635.649

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ АДАПТИВНИХ СВІТЛОДІОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДУЛІВ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Ковальов М. М.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Постановка проблеми. У технологічних модулях закритого ґрунту з повністю штучним освітленням світлодіодний комплекс є основним споживачем електроенергії, тому саме питомі енерговитрати на одиницю продукції визначають економічну доцільність таких систем [1; 2]. Традиційний шлях підвищення біопродуктивності – нарощування щільності потоку фотонів фотосинтетично активної радіації (PPFD) або тривалості фотоперіоду – неминуче збільшує встановлену потужність і споживання електроенергії. Натомість резерв, пов’язаний із просторовою організацією світлового поля, тобто з тим, яка частка вже випроміненого потоку фактично перехоплюється продуктивними ярусами листя, у практиці проєктування освітлювальних установок враховується недостатньо.

Аналіз останніх досліджень. Удосконалення світлодіодів забезпечило історичне зростання ефективності перетворення електричної енергії у фотони, проте цей показник наближається до фізичної межі: для світильників червоно-синього спектра вона оцінюється близько 4,1 мкмоль·Дж−1 [3]. Отже, подальший резерв енергоефективності зміщується з рівня «електроенергія – фотони» на рівень «фотони – продукція». Моделювання методом трасування променів показало, що за незмінної кількості поданих фотонів рівномірність їх розподілу в покриві суттєво залежить від розміщення джерел [4]. Для томата поєднання верхнього та внутрішньокронового освітлення тієї самої потужності дало більший приріст урожаю, ніж кожна зі схем окремо [5], а для солодкого перцю бічне досвічування підвищувало врожай на 17–20 % [6]. Однак у більшості цих робіт бічне світло було додатковим, тобто збільшувало сумарне енергоспоживання, а кількісних оцінок ефекту перерозподілу потоку за незмінної потужності для модульних гідропонних установок [7] бракує.

Мета досліджень – обґрунтувати можливість зниження питомих енерговитрат світлодіодного комплексу технологічного модуля закритого ґрунту за рахунок раціонального просторового перерозподілу світлового потоку без

збільшення встановленої електричної потужності.

Результати досліджень. Дослідження проведено в модулі гідропоніки періодичного затоплення з повністю штучним освітленням на перці гострому сорту Угорський жовтий упродовж 28 діб. Порівнювали три просторові конфігурації одного й того самого світлодіодного комплексу (660/450 нм, фотоперіод 14 год): А – увесь потік вертикально згори (90°, контроль); Б – увесь потік згори-збоку під кутом 45°; В – комбінована: 70 % потоку згори і 30 % збоку під 45°. Встановлена потужність, кількість світильників, спектр і режим роботи в усіх варіантах були однаковими; варіанти різнилися виключно орієнтацією панелей.

Принциповою умовою була енергетична коректність порівняння. За похилого падіння освітленість горизонтальної поверхні знижується пропорційно косинусу кута, тож за 45° втрати сягнули б близько 29 %. Їх компенсували не збільшенням потужності, а зменшенням відстані підвісу панелей до вирівнювання PPFD на рівні верхнього ярусу листя (200 мкмоль·м−2·с−1) за показами квантового датчика; висоту підвісу коригували щотижня в міру росту рослин, що й становить адаптивну складову керування комплексом. Добовий інтеграл світла на верхньому ярусі в усіх варіантах становив 10,08 моль·м−2·доба−1.

Енергетичний ланцюг перетворення «електроенергія – фотони – біомаса» описували виразом

$$M = W \cdot \eta\phi \cdot k\pi \cdot \varepsilon, \quad W = 3600 \cdot P \cdot \tau \cdot T, \qquad (1)$$

де M – вихід продукції (суха маса, г, або кількість зав’язей, шт.); W – електроенергія, спожита комплексом за період, Дж; ηф – фотонна ефективність світильників, мкмоль·Дж−1; kп – частка випроміненого потоку, перехоплена листковим покривом; ε – ефективність перетворення перехоплених фотонів у продукцію; P – встановлена потужність, Вт; τ – фотоперіод, год·доба−1; T – тривалість періоду, діб. Тоді питомі енерговитрати

$$e = W / M = 1 / (\eta\phi \cdot k\pi \cdot \varepsilon). \qquad (2)$$

Оскільки P, τ, T та ηф в усіх варіантах однакові, будь-яка зміна e зумовлена лише добутком kп·ε, тобто просторовою конфігурацією світлового поля, а відносні питомі енерговитрати дорівнюють оберненому відношенню виходу продукції: eі/eА = MА/Mі (табл. 1).

Комбінована конфігурація В забезпечила приріст загальної сухої маси на 31,6 % і кількості зав’язей на 65,2 % (НІР05 відповідно 0,42 г і 0,75 шт.), що за незмінного споживання електроенергії рівнозначно зниженню питомих енерговитрат на 24,0 % у розрахунку на 1 г сухої маси та на 39,5 % – на одну зав’язь. Фізичний зміст ефекту полягає у зростанні коефіцієнта kп: наближення панелей зменшує частку потоку, що виходить за межі покриву, а бічна складова доводить фотони до нижніх і внутрішніх ярусів листя, які за вертикального освітлення працювали поблизу компенсаційної точки. Це опосередковано підтверджує випереджальний приріст сухої маси коренів (+37,7 % проти +29,8 % надземної частини), що свідчить про поліпшення вуглецевого балансу рослини в цілому, а не про перерозподіл обмеженого ресурсу між органами.

Таблиця 1 – Енергетичні та продукційні показники світлодіодного комплексу за різної просторової конфігурації

Показник	А (90°)	Б (45°)	В (70+30 %)
Встановлена потужність комплексу, % до контролю	100	100	100
PPFD на рівні верхнього ярусу, мкмоль·м−2·с−1	200	200	200
Загальна суха маса, г/рослину	7,85	9,33	10,33
Кількість зав’язей, шт./рослину	4,6	6,6	7,6
Питомі енерговитрати на 1 г сухої маси, % до контролю	100	84,1	76,0
Питомі енерговитрати на 1 зав’язь, % до контролю	100	69,7	60,5
Кут відхилення стебла, град	1,1	20,1	5,0

Повністю похила конфігурація Б за тих самих енерговитрат була менш ефективною (питомі енерговитрати на 1 г сухої маси нижчі від контролю лише на 15,9 %, а загальна суха маса на 10,7 % менша, ніж у варіанті В) і спричинила неприйнятну фототропічну деформацію: відхилення стебла 20,1°, індекс асиметрії крони 1,824. За комбінованої схеми ці показники становили лише 5,0° та 1,060, тобто зменшення частки бічної складової приблизно втричі зменшило деформацію вчетверо. Отже, оптимум енергоефективності та технологічної придатності рослин досягається саме за комбінованого розподілу потоку.

Висновки. 1. За незмінних встановленої потужності, спектра та фотоперіоду раціональний просторовий перерозподіл потоку світлодіодного комплексу (70 % згори, 30 % збоку під 45°) підвищив біопродуктивність перцю гострого на 31,6 % за сухою масою і на 65,2 % за кількістю зав’язей, що рівнозначно зниженню питомих енерговитрат на 24,0 і 39,5 % відповідно.

2. Геометричні втрати освітленості за похилого розміщення панелей (до 29 %) слід компенсувати адаптивним коригуванням висоти підвісу за показами датчика PPFD, а не нарощуванням потужності.

3. Рішення реалізується перекомпонуванням наявного обладнання без капітальних витрат. Перспективними є автоматизоване керування геометрією світлового поля із приводами переміщення панелей і зворотним зв’язком за PPFD, а також уточнення оптимальної частки бічної складової в діапазоні 50:50–80:20.

Список використаних джерел

1. Weidner T., Yang A., Hamm M. W. Energy optimisation of plant factories and greenhouses for different climatic conditions. Energy Conversion and Management. 2021. Vol. 243. Art. 114336. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.114336.

2. Talbot M.-H., Monfet D. Analysing the influence of growing conditions on both energy load and crop yield of a controlled environment agriculture space. Applied

Energy. 2024. Vol. 368. Art. 123406. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123406.

3. Kusuma P., Pattison P. M., Bugbee B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. Horticulture Research. 2020. Vol. 7. Art. 56. DOI: 10.1038/s41438-020-0283-7.

4. Schipper R., van der Meer M., de Visser P. H. B. et al. Consequences of intra-canopy and top LED lighting for uniformity of light distribution in a tomato crop. Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Art. 1012529. DOI: 10.3389/fpls.2023.1012529.

5. Ziaei N., Talebi M., Sayed Tabatabaei B. E. et al. Intra-canopy LED lighting outperformed top LED lighting in improving tomato yield and expression of the genes responsible for lycopene, phytoene and vitamin C synthesis. Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 19022. DOI: 10.1038/s41598-024-69210-z.

6. Kim D., Son J. E. Adding far-red to red and blue supplemental light-emitting diode interlighting improved sweet pepper yield but attenuated carotenoid content. Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Art. 938199. DOI: 10.3389/fpls.2022.938199.

7. Ковальов М. М. Технологічні особливості смарт-модулів періодичного затоплення в овочівництві закритого ґрунту. Овочівництво і баштанництво. 2026. Вип. 79. С. 73–81. DOI: 10.32717/0131-0062-2026-79-73-81.

УДК 621.311.243:628.9

ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА НАПІВПРОЗОРОГО СОНЯЧНОГО СКЛІННЯ НАВЧАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ АГРАРНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ

Мартиненко В. О.
Миколаївський національний аграрний університет

Фотоелектричне скління поєднує функції огородження будівлі та виробництва електроенергії. Для навчальних будівель аграрних університетів його доцільність залежить також від збереження природного освітлення. Зростання генерації внаслідок збільшення площі сонячного скла може супроводжуватися додатковим споживанням електроенергії світильниками. Тому оцінювання лише встановленої потужності недостатнє для вибору конструкції.

W. Wang та C. Xiang [1] експериментально дослідили вплив напівпрозорих фотоелектричних вікон на візуальний комфорт. Їхні результати для Гонконгу не можна безпосередньо переносити на українські аудиторії. Технічний посібник Onyx Solar [2] містить електричні й оптичні характеристики кремнієвого фотоелектричного скла, однак паспорт ламінату не визначає властивостей повного теплоізоляційного склопакета. Для попереднього вибору потрібно узгодити кліматичну оцінку генерації, світлопропускання та вимоги до навчального приміщення.

Оцінити річну генерацію й зміну природного освітлення за часткової заміни звичайного скління фотоелектричним та визначити обмеження такого рішення для навчальної будівлі аграрного університету.

Розглянуто розрахунковий сценарій аудиторії в Миколаєві з трьома вікнами загальною площею A = 7,0308 м² [7]. Прийнято заводський склопакет із зовнішнім ламінованим фотоелектричним склом на кристалічному кремнії. Паспортний орієнтир [2] має потужність 81 Вт, розміри 1475 × 480 мм, світлопропускання ламінату 43% і заявлену питому потужність p = 114,1 Вт/м². У моделі світлопропускання повного нового склопакета задано 0,40, існуючого - 0,70. Це припущення для підбору виробу, а не підтверджені характеристики готового вікна.

Питомий виробіток Y = 825,56 кВт·год/кВт на рік прийнято з розрахунку [7] за PVGIS 5.3 [3] для вертикального південного фасаду в Миколаєві: SARAH3, 2005-2023 роки, монтаж на будівлі, системні втрати 14%. Додаткове місцеве затінення s задано 0,10. За частки заміни f потужність P, кВт, і річну генерацію E_{pv}, кВт·год, визначали як

$$P = \frac{Afp}{1000}; \quad E_{\mathrm{PV}} = PY(1 - \mathrm{s}) \quad (1)$$

Величина Y вже враховує задані системні втрати 14%; повторно їх не віднімали. Використано узагальнену модель кристалічного кремнію, а не точну температурну модель конкретного склопакета.

Зміну коефіцієнта природної освітленості (КПО) оцінювали за спрощеним співвідношенням

$$e_1 \approx e_0[1 - \mathrm{w}(1 - \frac{\tau_{\mathrm{PV}}}{\tau_0})] \quad (2)$$

де e_0 та e_1 - КПО до і після заміни, %; τ_0 та τ_{pv} - світлопропускання склопакетів; w - частка внеску замінених ділянок у денне світло контрольної точки. У базовому сценарії w = f та e_0 = 1,50%. За таблицею Д.1, рядком 37 ДБН В.2.5-28:2018 [4] для аудиторій ЗВО при боковому природному освітленні прийнято поріг КПО 1,2%; загальне штучне освітлення робочих столів - 400 лк. Пропорційна оцінка (2) не замінює нормативного світлотехнічного розрахунку.

За заміни 30% скління площа фотоелектричних частин становить 2,109 м², розрахункова генерація - близько 179 кВт·год/рік, КПО - 1,31%. Варіант 40% наближається до прийнятого порога; варіанти 60% і 100% його не досягають. За однакової світлової ваги ділянок гранична частка заміни становить 46,7% без запасу. Це умовна межа моделі, а не універсальна допустима частка. Для 30% заміни початковий КПО має бути не нижчим за 1,377%; фактичне розташування фотоелектричних ділянок може змінити результат.

Для оцінювання електричного ефекту частку використання генерації в будівлі задано 90%, додаткове споживання світлодіодного освітлення - 35,4 кВт·год/рік за погодинним сценарієм [7] із лінійним регулюванням яскравості до цілі 500 лк. Тоді зменшення придбаної електроенергії становить близько 126 кВт·год/рік. Частка 90% є припущенням: синхронізований погодинний баланс генерації й навантаження не побудовано. За власного споживання електроніки 5 Вт цілодобово результат знижується приблизно до 82 кВт·год/рік. Теплові

ефекти, деградацію й резервне живлення тут не оцінювали.

Таблиця 1 Розрахункові варіанти заміни скління

Заміна, %	Потужність, кВт	Генерація, кВт·год/рік	КПО, %
0	0,000	0	1,50
30	0,241	179	1,31
40	0,321	238	1,24
60	0,481	358	1,11
100	0,802	596	0,86

Практичне впровадження потребує перевірки природного освітлення, теплових і механічних властивостей повного склопакета та безпеки електричних виводів. IEC 63092-1 і IEC 63092-2 [5, 6] розглядають окремо вимоги до фотоелектричного будівельного виробу та інтегрованої системи.

Додаткове штучне освітлення не підтверджує відповідності обраному режиму природного освітлення. Для навчальної будівлі доцільний вимірювальний пілот із контрольним звичайним склінням.

Висновки

Часткове фотоелектричне скління може забезпечувати локальну генерацію за збереження прийнятого показника природного освітлення. Для розглянутого сценарію 30% заміни дає близько 179 кВт·год/рік генерації та 126 кВт·год/рік зменшення придбаної електроенергії без теплових ефектів і власного споживання електроніки. Повна заміна знижує КПО до 0,86%. Варіант 30% придатний для подальшої перевірки, але не визначений як оптимальний. Остаточне рішення потребує натурних вимірювань, підтверджених характеристик виробу та порівняння зі звичайними вікнами й окремою даховою фотоелектричною установкою.

Список використаних джерел

1. Wang W., Xiang C. Exploring the impacts of semi-transparent photovoltaic glazing on human visual and non-visual comfort: An experimental case study in Hong Kong. Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 103. Article 112184. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112184.

2. Onyx Solar. Technical Guide EN/ES. 30.06.2026. P. 6. URL: https://onyxsolar.com/images/3.resources/Technical_guide_EN-ES_300626.pdf.

3. European Commission, Joint Research Centre. PVGIS API non-interactive service. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/using-pvgis-5/api-non-interactive-service_en.

4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Табл. Д.1, рядок 37. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3879665444646291006?doc_type=2.

5. IEC 63092-1:2020. Photovoltaics in buildings - Part 1: Requirements for

building-integrated photovoltaic modules. URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/32158.

6. IEC 63092-2:2020. Photovoltaics in buildings - Part 2: Requirements for building-integrated photovoltaic systems. URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/32329.

7. Vakhonina, L., Sadovoy, O., Martynenko, V., & Rudenko, A. (2026). Integration of control and measurement devices into CAD models of industrial power systems: Metrological aspects of accuracy and impact on energy efficiency. ITEGAM-JETIA, 12(58), 1487-1497. https://doi.org/10.5935/jetia.v12i58.3469

УДК 631.22:628.8:620.9

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ НА ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМАХ

Ачкевич О., Романченко В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Створення та підтримання оптимального мікроклімату в тваринницьких приміщеннях (корівниках, свинарниках) складає 40–90% від загального обсягу споживання енергії на фермах. Головними напрямами зменшення енерговитрат є підтримання теплоізоляції огороджувальних конструкцій та скорочення втрат тепла через вентиляційне повітря.

Найбільш ефективним рішенням є використання децентралізованих систем вентиляції з відділенням тепла з витяжного повітря та осушенням внутрішнього повітря. Це дозволяє зменшити нормативний повітрообмін у холодний період року без погіршення зоогігієнічних показників.

Розроблено та випробувано нову технологічну схему децентралізованої багатофункціональної системи виробника «Agrovent».

Основна деталь системи – теплообмінник з проміжним теплоносієм, який складається з охолоджувального та нагрівального блоків, з'єднаних трубопроводом із циркуляційним насосом і байпасним клапаном.

Витяжне повітря, проходячи через охолоджувальний блок теплообмінника, охолоджується нижче точки роси. Внаслідок цього випадає конденсат, а осушене та частково охолоджене повітря спрямовується на рециркуляцію або викидається назовні.

Самоочищення та захист від замерзання: утворений конденсат забезпечує ефект самоочищення теплообмінних поверхонь від пилу та бруду. Захист від замерзання здійснюється автоматично шляхом відкриття байпасного клапана при зниженні температури теплоносія до 2 °С.

Один модуль системи розрахований на обслуговування зони приміщення для 30–35 корів (глибина зони 10–12 м, ширина 20–25 м). Для типового корівника

на 200 голів застосовується комплект із 6 модулів під єдиним автоматичним управлінням.

Дослідження модернізованої системи проходили на молочній фермі фермерського господаства «Україна» (смт Почуйки, Житомирська обл.). Вже через 1,5 години після включення системи відносна вологість повітря зменшилась з 83–92% до 72–75%. Концентрація вуглекислого газу (CO2) знижується з 0,25–0,3% до 0,11–0,18%. Вміст аміаку зменшився в 1,3–1,7 рази (до 8–10 мг/м³). ККД теплообмінника сягає 0,73–0,75. Корисна теплова потужність теплообмінника досягає 12,4 кВт на одну установку. Оптимальне співвідношення потоків витяжного та припливного повітря становить 1,85–1,95. Загальна економія енергії на опалення та вентиляцію досягає 87%.

Виявлено, що реальні втрати тепла в корівниках значно перевищують розрахункові через інфільтрацію повітря через нещільності віконних отворів і воротах (втрати від інфільтрації становлять близько 20%, а не 10%, як прийнято вважати при проектуванні).

Модернізація системи виробника «Agrovent» забезпечує надійне підтримання оптимального мікроклімату в корівниках без використання додаткових джерел тепла при зовнішніх температурах до -24 °C.

Система повністю покриває річний дефіцит тепла в приміщенні за рахунок рекуперації, забезпечуючи високий рівень енергозбереження та швидку окупність.

Удосконалена модульна децентралізована система «Agrovent» рекомендована для широкого впровадження на молочних фермах, а після незначної модернізації – і на свинарських комплексах.

Список використаних джерел

1. S. Angrecka, P. Herbut, D. Godyń, and F. M. C. Vieira, “Dynamics of microclimate conditions in freestall barns during winter – A case study from Poland,” Journal of Ecological Engineering 21, 129–136 (2020). https://doi.org/10.12911/22998993/122235

3. P. Herbut, S. Angrecka, and J. Walczak, “Environmental parameters to assessing heat stress in dairy cattle – A review,” International Journal of Biometeorology 64, 2089–2102 (2020). https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9

4. N. Kiktev, T. Lendiel, V. Vasilenkov, O. Kapralyuk, T. Hutsol, S. Glowacki, M. Kuboń, and Z. Kowalczyk, “Automated microclimate regulation in agricultural facilities using the air curtain system,” Sensors 21, 8182 (2021). https://doi.org/10.3390/s21248182

5. A. Banakar, M. Jalali, B. Farzaneh, and M. Montazeri, “Reducing energy consumption in a poultry farm by designing and optimizing the solar heating/photovoltaic system,” Sustainability 15, 6059 (2023). https://doi.org/10.3390/su15076059

6. S. Lee, J. Park, and S. Hong, “Preliminary evaluation of an advanced ventilation-control algorithm to optimise microclimate in a commercial broiler house,” Animals 14, 3430 (2024). https://doi.org/10.3390/ani14233430

7. B. Dado-Senn, J. Van Os, J. Dorea, and J. Laporta, “Actively ventilating calf hutches using solar-powered fans: Effects on hutch microclimate and calf thermoregulation,” JDS Communications 5, 61–66 (2024). https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0390

УДК 621.311.1:620.92

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ MICROGRID-МЕРЕЖІ АГРОПІДПРИЄМСТВА З ВИСОКОЮ ЧАСТКОЮ ВДЕ

Барсукова Г.В.
Сумський національний аграрний університет,
Барсуков Р.С.
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

Постановка проблеми. Зростання тарифів на електроенергію та прагнення до енергетичної незалежності спонукають агропромислові підприємства активно впроваджувати відновлювані джерела енергії. Створення локальних Microgrid-мереж, що об'єднують сонячні електростанції, біогазові установки та специфічні сільськогосподарські навантаження, стає провідним трендом. Проте висока частка інверторної генерації та наявність потужних нелінійних навантажень, таких як частотно-регульовані електроприводи вентиляторів зерносушарок та екструдерів, призводять до суттєвого погіршення якості електроенергії. У зв'язку з цим виникає критична потреба у розробленні та впровадженні ефективних технічних рішень для стабілізації напруги, динамічної компенсації реактивної потужності та придушення вищих гармонік у таких автономних та напівавтономних системах.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підтверджують складність забезпечення нормативних показників якості електроенергії в мережах з високим рівнем проникнення відновлюваних джерел. Значну увагу в науковій літературі приділено проблемам генерації вищих гармонік інверторами сонячних електростанцій та їх негативному впливу на розподільні мережі підприємств [1]. Окрім цього, систематизовано методи керування гібридними Microgrid-мережами з акцентом на застосуванні активних фільтрів та пристроїв D-STATCOM для стабілізації параметрів мережі в умовах динамічних змін навантаження [2]. Окремий напрям сучасних досліджень становлять технології використання синхронних генераторів когенераційних установок для підвищення стійкості локальної енергосистеми. Зокрема, проаналізовано можливості біогазових електростанцій у забезпеченні резерву активної та реактивної потужності в умовах сільських мереж [3]. Узагальнення результатів впровадження інтелектуальних систем енергоменеджменту на агропідприємствах підтверджує перспективність узгодженого керування

генерацією, накопичувачами та споживанням [4]. Водночас набувають розвитку та описуються нові топології багатофункціональних інверторів, здатних одночасно виконувати функції компенсаторів неактивної потужності та фільтрів вищих гармонік [5].

Метою дослідження є аналіз впливу відновлюваних джерел енергії та нелінійних навантажень на якість електроенергії в локальній Microgrid-мережі конкретного агропідприємства (ТОВ «Вітчизна»), а також обґрунтування комплексних технічних рішень щодо її підвищення.

Результати дослідження. Дослідження проводилося на базі локальної енергосистеми ТОВ «Вітчизна», розташованого у Конотопському районі Сумської області. До складу Microgrid-мережі даного підприємства входять дахова сонячна електростанція потужністю 400 кВт, біогазова когенераційна установка потужністю 1 МВт та комплекс різнорідних навантажень, що включає молочнотоварну ферму та сучасний елеватор із потужним зерносушильним обладнанням. Основною проблемою підприємства стала фіксація значних спотворень синусоїдальності кривої напруги та струму під час одночасної роботи частотно-регульованих приводів вентиляторів зерносушарок і максимальної генерації сонячної електростанції у літньо-осінній період. Вимірювання параметрів мережі показали, що коефіцієнт несинусоїдальності напруги (THDu) на шинах 0,4 кВ головної трансформаторної підстанції в пікові години досягав 11-13 відсотків, що значно перевищує гранично допустимі норми чинних стандартів. Аналіз показав, що традиційні конденсаторні установки компенсації реактивної потужності в таких умовах виявляються неефективними і навіть технологічно небезпечними через високий ризик виникнення резонансних явищ на частотах п'ятої та сьомої гармонік.

Вирішення цієї проблеми потребує комплексного підходу:

1. Пропонується впровадження багатофункціональних мережевих інверторів сонячної електростанції в режимі активної фільтрації, що дозволяє використовувати їх вільну потужність у нічний час або за умов низької інсоляції для компенсації реактивної складової.

2. Обґрунтовано доцільність встановлення паралельного активного фільтра гармонік (APF) безпосередньо біля головного розподільчого щита елеваторного комплексу, що є найпотужнішим джерелом струмових спотворень.

3. Надзвичайно важливим ресурсом підвищення стабільності мережі є синхронний генератор біогазової установки. Його система автоматичного регулювання збудження налаштовується таким чином, щоб генерувати або споживати реактивну потужність залежно від поточних потреб Microgrid-мережі підприємства в режимі реального часу. Застосування цифрових систем інженерного енергоменеджменту дозволяє об'єднати ці розрізнені елементи в єдину смарт-платформу. Встановлення інтелектуальних аналізаторів якості електроенергії у вузлових точках дає змогу оперативно відслідковувати параметри мережі та формувати адаптивні керуючі впливи на інвертори та активні фільтри.

Але жодне окреме технічне рішення не здатне повністю усунути проблеми з якістю електроенергії в складній багатокомпонентній мережі. Встановлення

лише активних фільтрів є фінансово обтяжливим, використання сонячних інверторів для компенсації обмежене їх поточною завантаженістю активною потужністю в сонячні дні, а можливості синхронного генератора біогазової установки локалізовані безпосередньою точкою його підключення. Тому проектування системи забезпечення якості електроенергії має здійснюватися на основі синергетичного ефекту від інтеграції всіх доступних засобів керування із застосуванням смарт-технологій [2; 4].

Висновок. Розвиток локальних Microgrid-мереж агропідприємств характеризується переходом від простого нарощування генеруючих потужностей відновлюваних джерел до комплексного управління енергетичними та електромеханічними процесами. Узагальнення результатів дослідження на базі ТОВ «Вітчизна» (Сумська область) свідчить про необхідність об'єднання активних фільтрів гармонік, інтелектуальних можливостей сонячних інверторів та систем автоматичного регулювання збудження когенераційних установок. У таких інженерних системах поєднуються моніторинг показників у реальному часі, динамічна компенсація реактивної потужності, придушення вищих гармонік та оптимізація загального енергоспоживання. Кожна технологія має власне поєднання переваг та обмежень, тому вибір конкретного рішення повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці топології мережі, характеру сільськогосподарських навантажень та індивідуальних режимів роботи джерел локальної генерації.

Список використаних джерел

1. Kumar S., Singh B., Panigrahi B. K. Impact of solar PV inverters on power quality of distribution networks and mitigation strategies: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2023. Vol. 175. Article 113169. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113169.

2. Ali Z. M., Diaaeldin I. M., El-Rafei A., Hasanien H. M., Aleem S. H. E. A., Jurado F. A comprehensive review on Microgrid control strategies, power quality improvement, and optimization techniques. Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 13813–13839. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.10.147.

3. Singh P., Lather J. S. Power management and control of isolated microgrid with biogas, solar PV and battery energy storage systems. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. Article 101413. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101413.

4. Wang Y., Nguyen T. L., Xu Y., Tran Q. T., Caire R. Peer-to-peer control for smart energy management of agricultural microgrids with high penetration of renewable energy. Applied Energy. 2023. Vol. 336. Article 120835. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.120835.

5. Zobaa A. F., Aleem S. H. E. A., Abdelaziz A. Y. Power Quality in Future Electrical Power Systems. IET Energy Engineering. 2023. 416 p. DOI: 10.1049/PBPO185E.

6. Shevchenko A., Dumnich O., Spivak O. Assessment of power quality indicators in power supply systems of agricultural enterprises with renewable energy sources. Energy Engineering and Control Systems. 2024. Vol. 10(1). P. 45–52. DOI: 10.23939/jeecs2024.01.045.

УДК 621.313.333:621.316.722

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Басова Ю.О., Негребецкий І.С.
Полтавський державний аграрний університет

Асинхронні двигуни (АД) є основними споживачами електричної енергії в промисловості. Експлуатація АД у режимах, відмінних від номінальних, призводить до зниження коефіцієнта потужності, що спричиняє зростання реактивного струму в мережі живлення [1, 2]. Компенсація реактивної потужності зменшує струм і втрати саме в мережі, а не безпосередньо в обмотках двигуна [2–4].

Для аналізу обрано серійний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором AIP250S4 номінальною потужністю 75 кВт. Двигун має чотириполюсне виконання з синхронною частотою обертання 1500 об/хв та номінальною напругою живлення 380/660 В. Для розрахункової моделі прийнято номінальний коефіцієнт потужності cosφ = 0,88. Двигуни цього типорозміру застосовуються для приводу насосного обладнання, вентиляційних систем, підйомно-траспортного обладнання та інших промислових механізмів [1].

Енергоспоживання АД визначається активною потужністю P (корисна робота) та реактивною потужністю Q (створення магнітного поля), а коефіцієнт потужності є їх відношенням: $\cos\varphi = P/S = P/\sqrt{(P^2 + Q^2)}$. Активна складова споживаного струму приблизно пропорційна навантаженню на валу, тоді як реактивна складова визначається переважно намагнічувальним струмом Iμ, який залежить від напруги мережі та параметрів магнітної системи двигуна і слабо залежить від навантаження (частина реактивної потужності, пов'язана з індуктивністю розсіювання обмоток, дещо зростає зі збільшенням навантажувального струму, але цей приріст суттєво менший за зміну активної складової) [1, 2]. Тому при зниженні коефіцієнта завантаження двигуна kз активна потужність P падає практично пропорційно навантаженню, а реактивна потужність Q залишається близькою до свого мінімального, майже незмінного рівня, що й спричиняє зниження коефіцієнта потужності cosφ [1, 2].

Кількісні значення cosφ, використані в розрахунковій моделі для двигуна (0,88 при kз = 1,0; 0,72 при kз = 0,5), відповідають типовому характеру залежності cosφ(kз) для асинхронних двигунів такого класу потужності. Значення cosφ = 0,15 у режимі холостого ходу узгоджується із загальновідомим для асинхронних двигунів діапазоном 0,1–0,3 (залежно від типу двигуна, потужності та швидкості обертання) і використане в моделі як умовна величина в межах цього діапазону, а не як точне вимірювання для AIP250S4. Це значення приблизно у 5,9 раза нижче нижньої межі номінального діапазону 0,87–0,89 (тобто «майже у 6 разів»),

що також варто розглядати як орієнтовне співвідношення, а не паспортну характеристику.

У розрахунковій моделі для АД прийнято орієнтовні значення cosφ: 0,88 за номінального навантаження (kз = 1,0); 0,72 при завантаженні 50 % (kз = 0,5) та 0,15 у режимі холостого ходу. Зниження коефіцієнта потужності при зменшенні навантаження відповідає характерній для асинхронних двигунів тенденції та обумовлене переважанням намагнічувальної складової струму в режимах недовантаження [1, 2]. У режимі холостого ходу прийняте значення коефіцієнта потужності приблизно у 5,9 раза менше за його номінальне значення, що ілюструє істотне погіршення умов електроспоживання при відсутності корисного навантаження.

Для підвищення коефіцієнта потужності цільового рівня cosφ2 = 0,95 пропонується встановлення статичних конденсаторів потужністю Qc, яка розраховується за співвідношенням [2-4]

$$Qc = Pфакт \cdot (\tan\varphi 1 - \tan\varphi 2).$$

де Рфакт – активна електрична потужність, спожита двигуном із мережі, прийнята зі спрощенням Рфакт = kз·Рн.

Для оцінювання ефекту компенсації активні втрати потужності на ділянці мережі до точки встановлення компенсувального пристрою визначалися за співвідношенням

$$\Delta P = 3I^2R,$$

де $I = S/(\sqrt{3}\cdot U)$ – діюче значення струму,

S – повна потужність,

U – лінійна напруга мережі,

R = 0,05 Ом – еквівалентний активний опір ділянки мережі (кабель, підвідні шини) до точки підключення компенсувального пристрою [2-4].

Результати розрахункового моделювання наведено в таблиці 1 для чотирьох характерних режимів завантаження асинхронного двигуна.

У прийнятій розрахунковій моделі необхідна потужність компенсації реактивної потужності Qc зі зниженням навантаження зростає від 15,8 до 28,1 кВАр у діапазоні коефіцієнта завантаження kз=1,0–0,25. При цьому характер залежності Qc від навантаження визначається прийнятою залежністю коефіцієнта потужності cosφ від коефіцієнта завантаження та не може розглядатися як універсальний для всіх типів і режимів роботи АД.

За результатами розрахунку зниження активних втрат на ділянці живильної мережі становить 0,36–0,40 кВт на один двигун залежно від режиму його роботи. За умови одночасної роботи 100 однотипних двигунів у режимі коефіцієнта завантаження (kз) сумарне теоретичне зниження втрат у живильній мережі може становити близько 40 кВт.

Таблиця 1 – Результати розрахункового моделювання режимів завантаження асинхронного двигуна

kз	Рфакт (кВт)	cosφ1	S1 (кВА)	I1 (А)	Qc для cosφ2=0,95 (кВАр)	ΔP1 у мережі до комп. (кВт)	ΔP2 у мережі після комп. (кВт)	Економія ΔP (кВт)
1,00	75,00	0,88	85,23	129,5	15,83	2,515	2,158	0,357
0,75	56,25	0,83	67,77	103,0	19,31	1,590	1,214	0,376
0,50	37,50	0,72	52,08	79,1	23,82	0,939	0,540	0,400
0,25	18,75	0,48	39,06	59,4	28,11	0,528	0,135	0,393
0 (х.х.)	≈0	0,15*	–	–	–	–	–	–

* Значення cosφ1 – прийняті розрахункові, а не виміряні паспортні дані.

Використання постійної нерегульованої конденсаторної установки, розрахованої на один фіксований режим навантаження, при зміні режиму роботи двигуна може призводити до перекомпенсації реактивної потужності, небажаного підвищення напруги та виникнення резонансних режимів за наявності в мережі вищих гармонік [2-4]. Тому для АД, що працює зі змінним навантаженням у широкому діапазоні, доцільним є застосування ступінчастої або автоматично регульованої системи компенсації реактивної потужності, яка забезпечує відповідність рівня компенсації фактичному режиму електроспоживання [3, 4].

Компенсація реактивної потужності АД статичними конденсаторами є технічно обґрунтованим засобом підвищення енергоефективності системи електропостачання двигуна за рахунок зменшення струму й активних втрат у мережі (кабелі, трансформатор), а не засобом зниження втрат безпосередньо в обмотках двигуна чи підвищення його власного ККД. Для підвищення коефіцієнта потужності до цільового значення cosφ2 = 0,95 рекомендовано застосовувати автоматично регульовану компенсацію, що дозволяє уникнути перекомпенсації за змінного навантаження. Економічна оцінка терміну окупності конденсаторної установки потребує окремого розрахунку на основі фактичних вихідних даних (вартість обладнання й монтажу, тариф на електроенергію, річний фонд робочого часу, плата за реактивну потужність) і в межах цієї роботи не наводиться.

Отже, компенсація реактивної потужності асинхронного двигуна статичними конденсаторами є ефективним засобом підвищення енергоефективності системи його електропостачання за рахунок зменшення струму та активних втрат у живильній мережі . При цьому компенсація не призводить безпосередньо до підвищення ККД двигуна або зменшення втрат у його обмотках. Для роботи зі змінним навантаженням доцільним є застосування автоматично регульованої компенсації з цільовим значенням коефіцієнта

потужності cosφ=0,95. Оцінювання терміну окупності потребує окремого техніко-економічного розрахунку з урахуванням фактичних умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., К.: Компринт, 2021. 497с.

2. Коліушко Д. Г., Асмолова Л. В. Проєктування систем електропостачання промислових підприємств : навчально-методичний посібник. Харків : ПромАрт, 2021. 96 с.

3. Schneider Electric. Power Factor Correction Catalog. 2019.

4. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р. Шляхи підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. Праці ТДАТУ. 2025. Вип. 25. Т. 3.

УДК 621.316.925 : 621.311.1

ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ВІД КОЛИВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО IEC

Басова Ю.О., Бичков Я.М.

Полтавський державний аграрний університет,

Сучасні електроенергетичні системи характеризуються високим рівнем взаємозв'язку між окремими електростанціями, підстанціями та магістральними лініями електропередачі. У таких умовах будь-яке значне порушення нормального режиму роботи мережі може призвести до виникнення коливань потужності, що суттєво впливають на роботу пристроїв релейного захисту.

Основними причинами виникнення коливань потужності є ліквідація коротких замикань, відключення ліній електропередачі, раптова втрата генератора, скидання великого навантаження, різкі зміни режиму роботи енергосистеми. Під час таких процесів повний опір, який вимірює дистанційний захист, починає змінюватися, що може призвести до його потрапляння в одну із зон спрацювання навіть за відсутності реального пошкодження.

Метою даної роботи є систематизація принципів налаштування функцій PSB та OST відповідно до вимог IEC 60255-121 та IEC 61850-8-1 [1, 2], а також формулювання практичних рекомендацій щодо вибору характеристик блокування дистанційного захисту для умов реальної електроенергетичної системи.

Під коливаннями потужності розуміють коливальний процес зміни кута між ЕРС генераторів, активної потужності, струму та напруги після значного порушення нормального режиму роботи системи. У цей час дистанційний захист визначає так званий видимий опір. Траєкторія зміни цього опору переміщується по площині «активний опір - реактивний опір» (R–X), перетинаючи

характеристики дистанційного захисту. Саме ця особливість створює небезпеку помилкового спрацювання захисту.

Після аварійного збурення енергосистема може перейти до двох принципово різних режимів: стійких та нестійких коливань.

У випадку стійких коливань кути ротора генераторів здійснюють затухаючі коливання, після чого система переходить до нового усталеного режиму роботи. При цьому вимикати лінію електропередачі не потрібно. Необхідною дією релейного захисту є тимчасове блокування окремих зон дистанційного захисту.

Якщо після аварії кутова різниця між генераторами продовжує збільшуватися, система втрачає синхронізм. Наслідками є порушення стійкості енергосистеми, асинхронний режим, прослизання полюсів генераторів, можливість каскадних аварій. У цьому випадку необхідно виконати контрольоване розділення енергосистеми.

Основною задачею функції блокування при коливаннях потужності (Power Swing Blocking, PSB) є відокремлення реального короткого замикання від коливань потужності [1, 3]. Для цього аналізується швидкість зміни видимого опору. При короткому замиканні траєкторія на площині R–X переміщується практично миттєво. При коливаннях потужності зміна опору відбувається значно повільніше. Наприклад, для лінії довжиною 80 км ($Z_л$=25 Ом) при коливаннях потужності траєкторія видимого опору плавно переміщується по дузі через кілька зон захисту (рис. 1, крива 2) протягом десятків мілісекунд, тоді як при короткому замиканні на цій же лінії видимий опір миттєво (за 1–2 такти дискретизації) фіксується в одній точці (рис. 1, крива 1), відповідній місцю пошкодження.

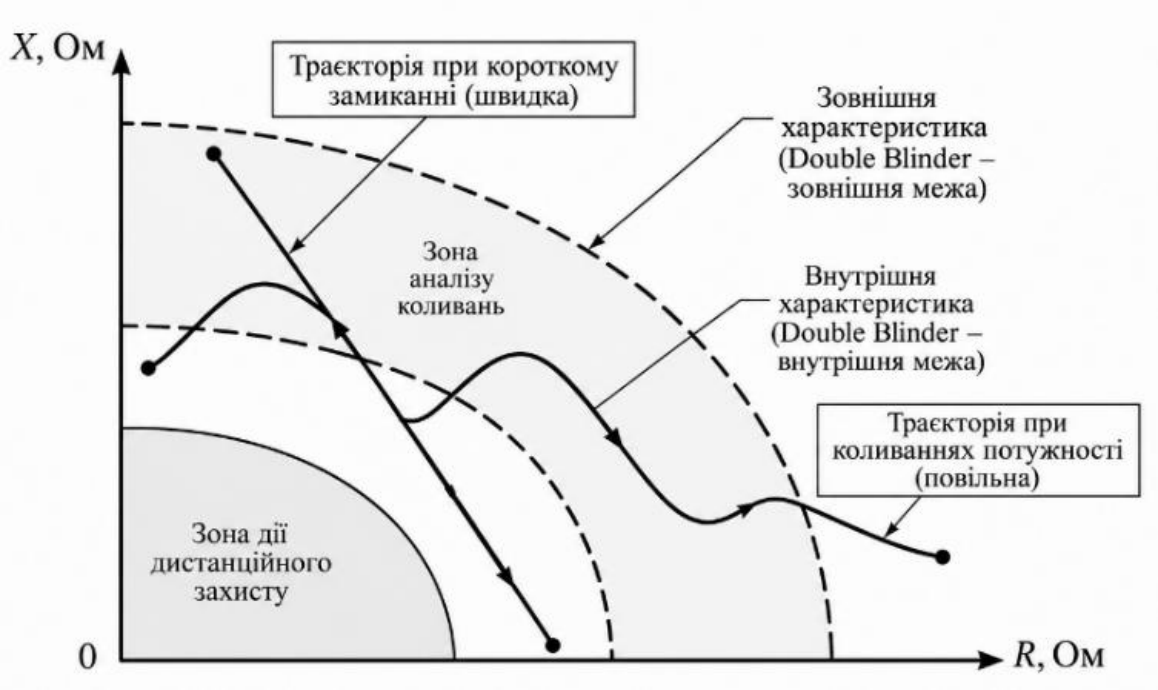


Рис. 1 - Траєкторії видимого опору на площині R–X при короткому замиканні та коливаннях потужності

У більшості сучасних терміналів використовується метод подвійної характеристики (Double Blinder) [4, 5]. Реле вимірює час проходження траєкторії між зовнішньою та внутрішньою межами. Незначна тривалість проходження свідчить про коротке замикання, тоді як значна тривалість вказує на коливання потужності, за яких дистанційний захист підлягає тимчасовому блокуванню.

Типові значення часу проходження траєкторії між зовнішньою та внутрішньою межинами (Δt) для сучасних мікропроцесорних терміналів становлять: для коротких замикань - менше 2–5 мс, для коливань потужності - понад 15–30 мс [5]. Уставка часу блокування (t_{block}) зазвичай обирається в межах 2–4 с, що перевищує тривалість типового циклу успішного АПВ.

Функція відключення при втраті синхронізму (Out-of-Step Tripping, OST) призначена для автоматичного розділення енергосистеми після втрати синхронізму [1, 6]. Алгоритм її роботи включає декілька етапів: 1. траєкторія входить до зовнішньої характеристики; проходить внутрішню характеристику; 2. 3. підтверджується втрата синхронізму; 4. видається команда на відключення вимикача.

У сучасних терміналах використовуються два режими роботи: відключення на вході траєкторії (Trip On The Way In, TOWI) та відключення на виході траєкторії (Trip On The Way Out, TOWO). [5, 6].

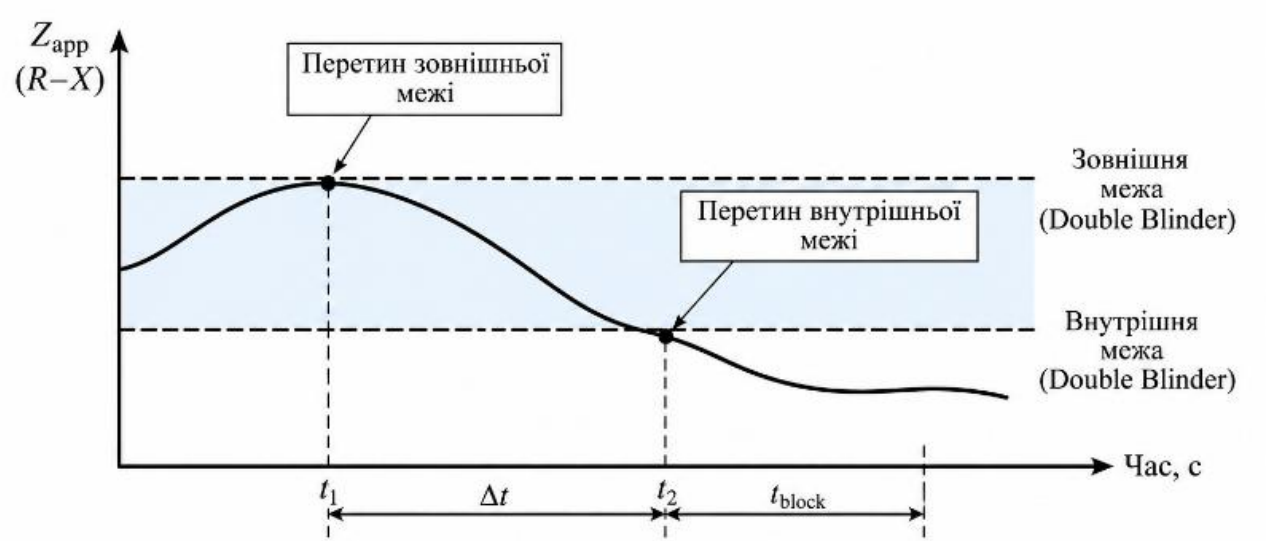


Рис. 2 – Часова діаграма визначення тривалості проходження траєкторії видимого опору

Режим TOWO застосовується, якщо електричний центр коливань розташований поза межами захищуваної лінії, а TOWI - якщо він знаходиться всередині зони дії захисту. Визначення положення електричного центру коливань здійснюється на основі аналізу напруги в точці нульового значення під час проходження траєкторії через характеристику захисту. Правильний вибір режиму залежить від конфігурації мережі та результатів дослідження стійкості.

Правильність налаштування PSB та OST забезпечується на основі досліджень статичної й динамічної стійкості мережі, моделювання аварійних

режимів та побудови траєкторій видимого опору з урахуванням параметрів конкретної енергосистеми [3, 6].

Проведений аналіз показав, що коректне налаштування уставок Δt та t_{block} функції PSB, а також правильний вибір режиму TOWI/TOWO для функції OST є визначальними факторами надійної роботи дистанційного захисту в умовах коливань потужності. Без застосування спеціальних алгоритмів дистанційний захист може помилково відключати непошкоджені лінії електропередачі, що негативно впливає на стійкість енергосистеми.

Список використаних джерел

1. IEC 60255-121:2014. Measuring relays and protection equipment – Part 121: Functional requirements for distance protection.

2. IEC 61850-8-1:2011. Communication networks and systems for power utility automation – Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM).

3. Blackburn J.L., Domin T.J. Protective Relaying: Principles and Applications. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 662 p.

4. Ziegler G. Numerical Distance Protection: Principles and Applications. 5th ed. Berlin: Publicis Publishing, 2020. 456 p.

5. Siemens AG. SIPROTEC 5 Distance Protection Application Manual - Power Swing Detection and Out-of-Step Protection. 2021.

6. IEEE Power System Relaying and Control Committee. Power Swing and Out-of-Step Considerations on Transmission Lines. IEEE PES Special Publication, 2005.

УДК 621.31:006.354

ОГЛЯД ТА ГАРМОНІЗАЦІЯ МІЖНАРОДНОЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Басова Ю.О., Покладенко К.В., Неводнича К.О.
Полтавський державний аграрний університет

Надійність, електробезпека та якість функціонування об'єктів електроенергетики значною мірою визначаються рівнем узгодженості проєктних, монтажних та експлуатаційних рішень із чинними нормативними документами. У зв'язку зі стрімким розвитком розподіленої генерації питання систематизації та порівняльного аналізу міжнародних стандартів набуває особливої актуальності для інженерної практики.

Мета роботи - систематизувати ключові стандарти серій IEC та IEEE, що регламентують проєктування, монтаж і експлуатацію електротехнічного обладнання. У роботі узагальнено чинні стандарти обох систем із застосуванням класифікації та порівняльного аналізу за функціональними напрямами: кабельна продукція, трансформатори, комутаційна апаратура, заземлення, блискавкозахист та фотоелектричні системи.

Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) – провідна міжнародна організація зі стандартизації в галузі електротехніки та електроніки, яка розробляє єдині технічні вимоги до обладнання й електроустановок. Її стандарти становлять основу національних систем стандартизації більшості країн світу, зокрема й України, забезпечуючи технічну сумісність, безпеку та усунення бар'єрів у міжнародній торгівлі електротехнічною продукцією. Переважна більшість їх стандартів гармонізована в Україні як ДСТУ EN/ДСТУ IEC через членство ДП «УкрНДНЦ» у CEN/CENELEC [1].

Стандарти IEC регламентують силові трансформатори (IEC 60076), силові кабелі з пресованою ізоляцією (IEC 60502), реле та обладнання релейного захисту (IEC 60255), вимірювальні трансформатори (IEC 61869), комплектні розподільні пристрої високої (IEC 62271) та низької (IEC 61439, IEC 60947) напруги, електроустановки будівель (IEC 60364). Значний блок стандартів присвячено фотоелектричним системам: кваліфікація конструкції PV-модулів (IEC 61215), їх безпека (IEC 61730), інспекція та введення в експлуатацію (IEC 62446), проєктування масивів (IEC 62548), а також суміжні питання захисту від імпульсних перенапруг (IEC 61643), блискавкозахисту (IEC 62305), техніки випробувань високою напругою (IEC 60060) та ступенів захисту оболонок IP (IEC 60529) [2].

Аналіз стану гармонізації перелічених 16 міжнародних стандартів IEC із національною системою стандартизації України свідчить про високий рівень нормативної інтеграції: 14 стандартів гармонізовано повністю й вони мають чинні ідентичні відповідники ДСТУ EN / ДСТУ EN IEC / ДСТУ IEC (ступінь IDT). Стандарт IEC 60364 («Електроустановки будівель») гармонізовано частково через серію ДСТУ HD 60364 із паралельною дією національних Правил улаштування електроустановок. Для IEC 62548 («Проєктування PV-масивів») прямого національного стандарту наразі не виявлено [2].

Інститут інженерів електротехніки та електроніки (IEEE) – провідна міжнародна професійна організація у сфері електротехніки, електроніки та суміжних технологій, яка розробляє визнані у світовій інженерній практиці стандарти та методики розрахунків. На відміну від IEC, стандарти IEEE не мають статусу обов'язкових міжнародних нормативних документів, однак широко застосовуються як авторитетна розрахункова й методична база – зокрема для розрахунків заземлення, дугового спалаху, якості електроенергії та приєднання розподіленої генерації – навіть у країнах, де вони не мають статусу національного стандарту [2].

Стандарти IEEE охоплюють питання безпеки заземлення підстанцій змінного струму (IEEE 80), вимірювання питомого опору землі (IEEE 81), заземлення промислових систем ("Зелена книга", IEEE 142), розрахунку небезпеки дугового спалаху (IEEE 1584), ємності акумуляторних батарей (IEEE 485), контролю вищих гармонік (IEEE 519), приєднання розподілених енергетичних ресурсів, зокрема сонячних PV-систем (IEEE 1547), моніторингу якості електроенергії (IEEE 1159), сейсмостійкого проєктування підстанцій (IEEE 693), протоколів зв'язку енергетичних систем (IEEE 1815, DNP3), а також серії стандартів для вимикачів і релейного захисту (IEEE C37) [3].

Національна система стандартизації України не містить прямих відповідників ДСТУ для стандартів IEEE, оскільки напрямок державного технічного регулювання послідовно орієнтований на гармонізацію з європейськими нормами CEN/CENELEC та міжнародними IEC.

Проведена систематизація стандартів IEC та IEEE засвідчила їхню взаємодоповнюваність: міжнародні стандарти IEC формують уніфіковану, гармонізовану в Україні основу для проєктування електроустановок і фотоелектричних систем, а стандарти IEEE забезпечують методичну базу для розрахунків безпеки, надійності та якості електропостачання, що застосовується в інженерній практиці незалежно від національного статусу гармонізації. Комплексне застосування розглянутих нормативних документів є необхідною умовою якісного проєктування, монтажу та безпечної експлуатації об'єктів електроенергетики, зокрема сонячних електростанцій.

Список використаних джерел

1. IEC Webstore [Electronic resource] : official database of International Electrotechnical Commission standards. Available at: https://webstore.iec.ch.

2. Каталог національних стандартів України [Electronic resource] : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). Національні стандарти серій ДСТУ EN, ДСТУ EN IEC та ДСТУ IEC, гармонізовані з міжнародними/європейськими стандартами через членство в CEN/CENELEC. Режим доступу: https://uas.gov.ua.

3. IEEE Standards Association [Electronic resource] : official database of Institute of Electrical and Electronics Engineers standards. Available at: https://standards.ieee.org.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК ТА ФОРМИ НАПРУГИ ПОБУТОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ НА НАДІЙНІСТЬ І БЕЗПЕКУ ЖИВЛЕННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Бичков Я.М., Гордієнко О.О.

Полтавський державний аграрний університет

На сьогоднішній день генератори стали дійсно невід’ємним засобом забезпечення безперебійного електропостачання в умовах нестабільного постачання електроенергії з централізованих мереж. Однак використання деяких бюджетних генераторів супроводжується модифікацією синусоїдальної форми вихідної напруги та високим рівнем вищих гармонік. Це часто спричиняє збої в роботі мікропроцесорної техніки, знижує коефіцієнт потужності та може суттєво збільшувати кількість втрат електроенергії [1].

Метою дослідження є підвищення надійності та безпечності експлуатації чутливого обладнання шляхом розгорнутого аналізу для вибору типу генератора та засобів фільтрації гармонік. Об'єктом дослідження є процес електропостачання для побутових приладів споживачів, а предметом –

гармонійний склад вихідної напруги генераторів та її вплив на роботу обладнання споживачів. Для досягнення поставленої мети здійснено осцилографічний аналіз форми напруги [2], розрахунок коефіцієнта гармонійних спотворень та оцінку технічної та економічної ефективності застосування інверторних технологій (рис. 1). Вимірювання проводилися на цифровому двоканальному цифровому запам'ятовуючому осцилографі OWON серії SDS1102.

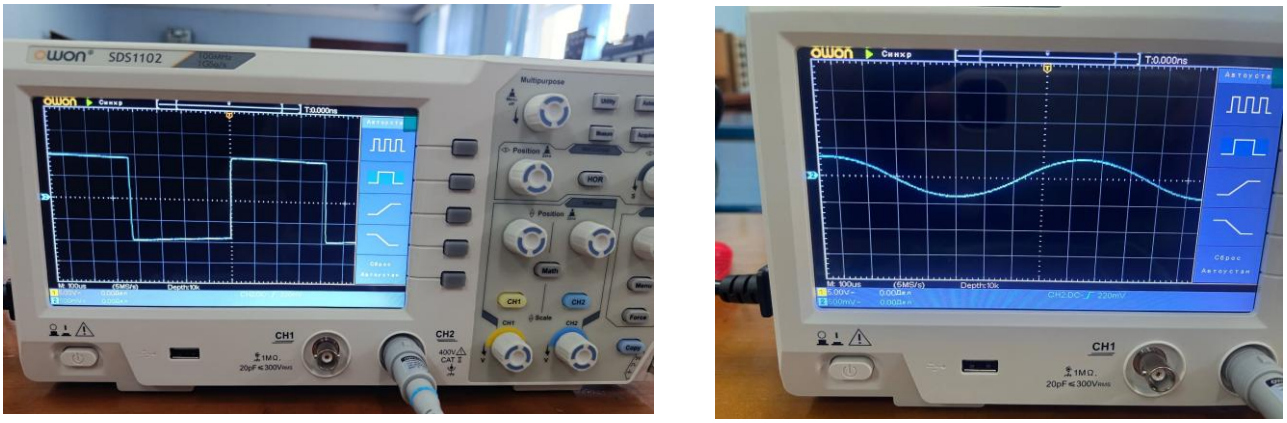


Рис. 1 – Гармонійний склад вихідної напруги зліва «меандр», справа «синус».

Для проведення розрахунків використано наступні формули:

$$THDU = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{n} Uk}}{U1} \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$Ik = \frac{Uk}{Zk} \quad (2)$$

$$Zk = \sqrt{R^{1^2} + (k\omega Ls)^2}; \quad (3)$$

$$Ih = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} Ik^2}; \quad (4)$$

$$Росн = I^{1^2} R1; \quad (5)$$

$$\Delta P = I^{h^2} R1; \quad (6)$$

$$\delta P = Росн / \Delta P \cdot 100\%. \quad (7)$$

Для генератора з AVR (THDU=15%) отримано: Ih=0,274А, ΔP=1,13 Вт, Росн=7,14 Вт, δP=15,8%. А вже для інверторного генератора з (THDU=2,75%) Ih=0,054 А, ΔP=0,044 Вт, δP=0,62%.

Отже маємо, що для побутового генератора номінальною потужністю 3,0 кВт зі звичайним автоматичним регулятором напруги (AVR) встановлено, що коефіцієнт вищих гармонік сягає 12–18%, а форма напруги суттєво відхиляється від чистої синусоїди. Натомість для інверторного генератора аналогічної потужності значення не перевищує 2,5–3,0%, що повністю відповідає нормативним вимогам до якості електроенергії. Дослідження показало, що при

живленні чутливого обладнання неналежної (модифікованої) форми напруги втрати в статорі електродвигуна зростають на 15–20%, викликаючи його шум, вібрацію та додаткове теплове навантаження, а отже і подальшу відмову.

Під час експлуатації генераторного обладнання особливого значення набуває складова охорони праці та пожежної безпеки [3, 4]. Варто розуміти, що основними загрозами є електричний струм, перегрів обмоток електроспоживачів, руйнування ізоляції та загроза короткого замикання, токсичність вихлопних газів і пожежонебезпека пального.

Забезпечення якісної синусоїдальної форми напруги та мінімізація вищих гармонік у побутових генераторах забезпечує підвищення енергоефективності, збереження техніки та зменшення аварійності. Результати можуть бути використані для вибору резервного електропостачання як для житлових, так і виробничих (у тому числі аграрних) підприємств.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160:2010, IDT). [Чинний від 2015-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 29 с.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Х-те вид., перероб. і доп. Київ : Мінпаливенерго України, 2017. 617 с.
3. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4 // База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98 (дата звернення: 15.09.2026).
4. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417 // База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15 (дата звернення: 16.09.2026).

УДК 621.313.333

ВПЛИВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ЗМІЩЕННЯ ДІЛЯНОК РОТОРА НА ГАРМОНІЧНІ ЕЛЕКТРОРУШІЙНІ СИЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Вахоніна Л. В.
Миколаївський національний аграрний університет

Асинхронні двигуни насосів і вентиляторів агропромислових установок працюють за змінного навантаження. Зубчастість магнітопроводів і просторова дискретність обмоток створюють вищі гармоніки магнітного поля, які можуть спричиняти додаткові втрати та нагрівання [1]. Вибір конструкції ротора потребує оцінювання цих складових разом із впливом на основне поле й обертальний момент.

Обґрунтували компенсацію зубцевих складових електрорушійної сили (ЕРС) у секціонованому роторі з проміжними короткозамикальними кільцями. У дослідженні [2] модель тягового двигуна перевірено експериментально; показано залежність гармонічних втрат від геометрії пазів і розташування стрижнів. Робота [3] засвідчує вплив міжстрижневих струмів на характеристики двигуна. Отже, оцінювання зміщення секцій має поєднувати аналіз поля та електричних контурів ротора.

Аналітично оцінити вибірковість компенсації зубцевих гармонік за тангенціального зміщення ділянок ротора та визначити умови застосування цього рішення в агропромислових електроприводах.

Результати досліджень. Виконано аналітичне узагальнення підходу [1]. Власних експериментальних випробувань не проводили. Прийнято однакову активну довжину ділянок, рівні амплітуди відповідних гармонічних ЕРС і відсутність інших відмінностей, крім фазового зсуву. Для двох ділянок відносна амплітуда суми ЕРС становить:

$$\kappa_h = \left| \frac{1 + e^{jh\beta}}{2} \right| = \left| \cos\left(\frac{h\beta}{2} \right) \right| \qquad (1)$$

де h - просторовий порядок гармоніки в механічній кутовій координаті; β - взаємне механічне зміщення ділянок, рад; j - уявна одиниця. Коефіцієнт κ характеризує амплітуду сумарної ЕРС, а не її миттєву проєкцію чи втрати потужності. За $\beta = 0$ він дорівнює одиниці.

Для зубцевої складової провідності за ідеалізованою моделлю [1] $h = kz$, де z - кількість зубців ротора, k - номер складової. Зміщення $\beta = \pi / z$ відповідає половині зубцевого ділення $2\pi / z$. Тоді непарні складові компенсуються, а парні зберігають сумарну амплітуду.

Для чотирьох симетричних ділянок із кутовими положеннями $0,\ \beta_1,\ \beta_2$, $\beta_1 + \beta_2$, де $\beta_1 = \pi / z$, $\beta_2 = \pi / (2z)$, за тих самих припущень одержано:

$$\kappa_{kz} = \left| \cos\left(\frac{k\pi}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{k\pi}{4} \right) \right| \qquad (2)$$

Таблиця 1

Відносна амплітуда суми зубцевих ЕРС

Номер k	Дві ділянки	Чотири ділянки
1	0	0
2	1	0
3	0	0
4	1	1

Джерело: аналітичний розрахунок за формулами (1), (2).

Схема з чотирма ділянками компенсує перші три складові, але не пригнічує складові з k, кратним чотирьом. Тому навіть в ідеалізованому випадку повної компенсації всього зубцевого спектра не досягнуто. Крім того, зміщення однойменних стрижнів дискретної обмотки послаблює її зв'язок з основною гармонікою поля [1]. Цей ефект потрібно враховувати під час оцінювання моменту.

Нульова сумарна ЕРС не доводить відсутності місцевих струмів у короткозамкнених контурах. Проміжні кільця та міжстрижневі зв'язки мають бути відтворені в електричній моделі [3]. Зміна втрат залежить також від опорів контурів, частот гармонік і властивостей магнітопроводу. За значеннями таблиці 1 зміну коефіцієнта корисної дії визначити неможливо.

Для насосних і вентиляційних агропромислових установок доцільно добирати зміщення за спектром найбільш значущих гармонік. Конструкції слід порівнювати за однакової корисної потужності, частоти живлення й умов охолодження, перевіряючи пусковий момент, момент за робочого навантаження, нагрівання та загальні втрати. Наведений розрахунок є етапом відбору конструкції; її ефективність потребує моделювання повного ротора та стендових випробувань.

Висновки. Тангенціальне зміщення ділянок ротора забезпечує вибіркову компенсацію гармонічних ЕРС у прийнятій моделі. Поєднання зміщень на половину й чверть зубцевого ділення компенсує перші три складові, зберігаючи четверту. Для застосування в агропромислових електроприводах необхідно підтвердити зменшення загальних втрат зі збереженням потрібних характеристик обертального моменту. Величину економії електроенергії наведений аналіз не встановлює.

Список використаних джерел

1. Ставинский А. А., Плахтырь О. О., Вахонина Л. В., Пальчиков О. О. Асинхронні двигуни з тангенціальним розміщенням зубцових гармонік магнітного поля. Ч. 1. Добавочные электродвигущие сили и силы. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. 2017. № 1 (1223). С. 16–21. URL: https://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_1_0.pdf.

2. Siddique M. S., Ertan H. B., Alam M. S., Khan M. U. Investigation of Harmonic Losses to Reduce Rotor Copper Loss in Induction Motors for Traction Applications. World Electric Vehicle Journal. 2025. Vol. 16, No. 5. Art. 248. DOI: 10.3390/wevj16050248.

3. Williamson S., Smith A. C. Equivalent circuits for cage induction motors with inter-bar currents. IEE Proceedings: Electric Power Applications. 2002. Vol. 149, No. 3. P. 173–183. DOI: 10.1049/ip-epa:20020161.

УДК 681.5:637.1

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА В ІННОВАЦІЙНОМУ МОДУЛІ ПЕРЕРОБКИ НА БАЗІ ВІВАРІЮ

Барсукова Г.В., Горбась В.М.
Сумський національний аграрний університет,
Барсуков Р.С.
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

Постановка проблеми. Зростання попиту на високоякісну крафтову молочну продукцію спонукає аграрні та освітньо-наукові заклади до модернізації власних виробничих потужностей. Виробництво сирів та інших молочних продуктів в умовах малих інноваційних модулів вимагає надзвичайно точного дотримання температурних режимів. Проте застарілі релейно-контакторні схеми керування та відсутність гнучкого регулювання потужності нагрівальних елементів призводять до значної теплової інерції, перевитрат електроенергії та ризику перегріву сировини. У зв'язку з цим виникає критична потреба у реконструкції системи електрифікації та розробленні сучасної автоматизованої системи керування технологічними лініями, зокрема процесом пастеризації, що забезпечить енергоефективність і стабільну якість крафтової продукції.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підтверджують складність забезпечення високої енергоефективності в малих модулях переробки сільськогосподарської продукції без застосування мікропроцесорної техніки. Значну увагу в науковій літературі приділено проблемам теплової інерції в пастеризаційних установках та оптимізації ПІД-регулювання температурних режимів за допомогою програмованих логічних контролерів [1]. Окрім цього, систематизовано методи керування гідравлічними потоками в молочній промисловості з акцентом на застосуванні частотно-регульованих електроприводів насосних станцій для стабілізації тиску та витрат продукту в умовах динамічних змін [2]. Окремий напрям сучасних досліджень становлять технології впровадження індустріального інтернету речей (IIoT) для підвищення прозорості технологічних процесів у крафтовому виробництві. Зокрема, проаналізовано можливості сенсорних мереж та HMI-панелей у забезпеченні безперервного моніторингу якості молока на етапі термічної обробки [3]. Узагальнення результатів впровадження автоматизованих систем на міні-сироварнях підтверджує перспективність узгодженого керування нагрівачами, запірною арматурою та приводами мішалок [4]. Водночас набувають розвитку та описуються нові підходи до комплексної реконструкції систем електрифікації агропідприємств із впровадженням елементів енергоменеджменту [5].

Метою дослідження є обґрунтування та розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока в

інноваційному модулі переробки на базі віварію для підвищення енергоефективності та забезпечення стабільної якості крафтової продукції.

Результати дослідження. Дослідження проводилося на базі локальної технологічної лінії інноваційного модуля переробки молока, розташованого у навчально-науковому віварії Сумського національного аграрного університету. До складу цього модуля входить обладнання для приймання, охолодження, пастеризації сировини та ферментації сирних згустків. Основною проблемою діючої лінії стала фіксація значних відхилень температури молока під час процесу пастеризації через ручне керування трубчастими електронагрівниками (ТЕН) та відсутність зворотного зв'язку за витратою теплоносія. Вимірювання параметрів процесу показали, що температурні перерегулювання в пікові моменти нагріву досягали 4-6 °С, що негативно впливає на білкову структуру молока та призводить до невиправданих витрат електроенергії. Для візуалізації апаратної частини об'єкта було розроблено відповідну схему (рис. 1).

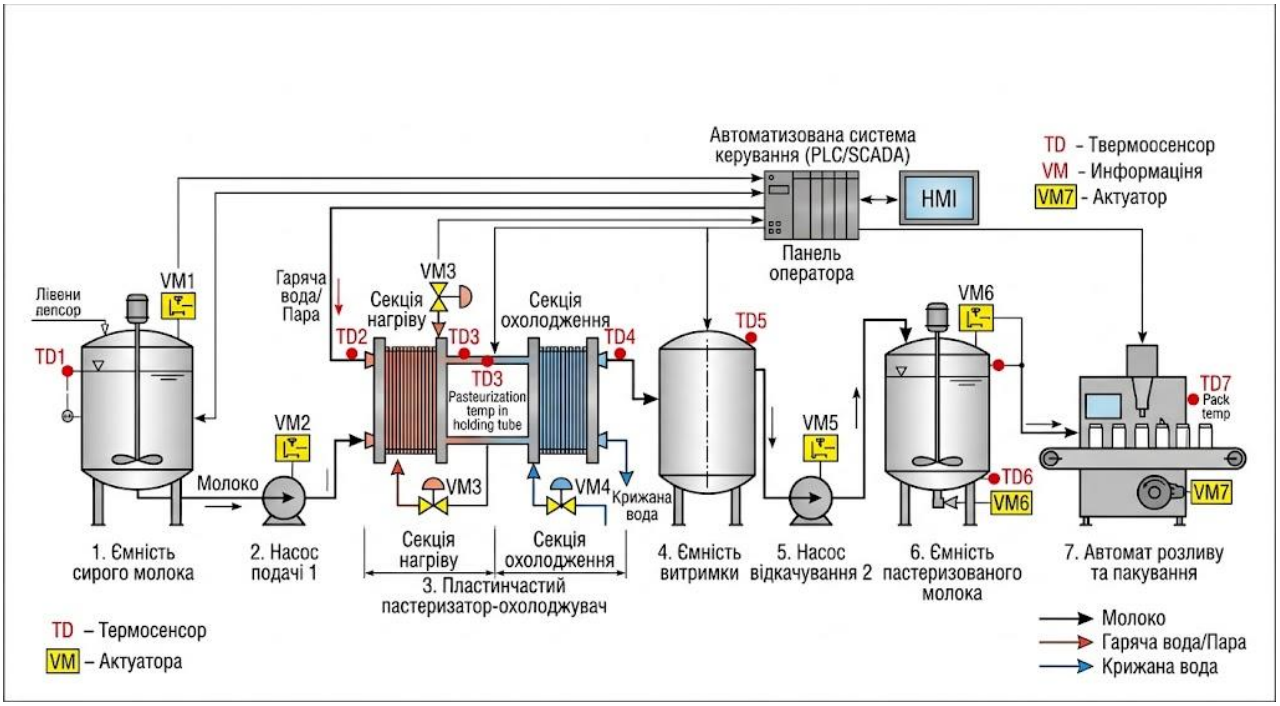


Рисунок 1 – Структурно-кінематична схема автоматизованої лінії пастеризації модуля переробки молока віварію СНАУ із зазначенням точок встановлення термодатчиків та виконавчих механізмів

Аналіз показав, що традиційні методи прямого пуску насосів та дискретного вмикання нагрівачів у таких умовах виявляються неефективними. Вирішення цієї проблеми потребує комплексного підходу, інтегрованого в єдину систему керування. По-перше, пропонується впровадження промислового програмованого логічного контролера (ПЛК), який на основі адаптивного ПІД-закону регулювання керує твердотільними реле для плавної зміни потужності нагрівального контуру, зводячи теплову інерцію до мінімуму. По-друге, обґрунтовано доцільність встановлення перетворювачів частоти для асинхронних електродвигунів молочних насосів і мішалок. Це дозволяє

синхронізувати швидкість подачі продукту з інтенсивністю нагріву, виключаючи гідравлічні удари та спінювання молока. По-третє, надзвичайно важливим ресурсом підвищення технологічної дисципліни є організація людино-машинного інтерфейсу. Встановлення HMI-панелі оператора безпосередньо в цеху дає змогу персоналу оперативно обирати рецептуру крафтових сирів, відслідковувати тренди температур у режимі реального часу та формувати електронні звіти про кожну партію продукції. Але жодне окреме технічне рішення не здатне повністю усунути проблеми виробничого процесу. Встановлення лише сенсорної панелі без частотного регулювання насосів не вирішить питання енергоефективності, а використання ПЛК без точних швидкодіючих датчиків температури (Pt100) знівелює точність алгоритмів керування. Тому проектування системи електрифікації та автоматизації інноваційного модуля має здійснюватися на основі синергетичного ефекту від інтеграції комутаційної апаратури, приводної техніки та цифрових засобів моніторингу [2; 4].

Висновок. Реконструкція систем електрифікації сучасних малих переробних виробництв характеризується переходом від жорсткої релейної логіки до комплексного цифрового управління електромеханічними та тепловими процесами. Узагальнення результатів дослідження на базі інноваційного модуля переробки молока віварію СНАУ свідчить про необхідність поєднання програмованих логічних контролерів, частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів та сенсорних панелей оператора. У таких інженерних системах поєднуються моніторинг показників у реальному часі, динамічна адаптація потужності нагріву та оптимізація загального енергоспоживання технологічної лінії. Кожна технологія має власне поєднання переваг, тому вибір конкретної апаратної бази повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці обсягів переробки, вимог до рецептур крафтової продукції та режимів роботи електродвигунів.

Список використаних джерел

1. O'Sullivan N., O'Donnell C. P., Tiwari B. K. Advances in automation and control of dairy processing operations: A comprehensive review. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2023. Vol. 86. Article 103365. DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103365.

2. Mishra S., Sharma R., Kumar A. Energy efficiency and performance analysis of variable frequency drives in food processing pumping systems. Journal of Food Engineering. 2022. Vol. 318. Article 110885. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110885.

3. Chen J., Yang X., Zhang M. Implementation of Industrial Internet of Things (IIoT) for real-time monitoring and quality control in craft dairy production. Food Control. 2024. Vol. 155. Article 110058. DOI: 10.1016/j.foodcont.2023.110058.

4. Kovalenko O., Sydorenko V., Melnyk I. Modernization of electrical complexes and automation systems in small-scale milk processing enterprises. Electrification and Automation of Agriculture. 2023. Vol. 3(1). P. 112–120. DOI: 10.31548/eaaa2023.03.112.

5. Wang L., Zhao H., Li Y. Smart energy management and PLC-based PID control strategies for pasteurization processes in the dairy industry. Applied Energy. 2023. Vol. 330. Article 120341. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.120341.

6. Tkachenko S., Ponomarenko O. Evaluation of dynamic characteristics of temperature control systems in innovative agricultural processing modules. Energy Engineering and Control Systems. 2024. Vol. 10(2). P. 78–85. DOI: 10.23939/jeecs2024.02.078.

УДК 631.365:664.7:620.9

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Горюнов Б. О.
Полтавський державний аграрний університет

Переробка зернової продукції є важливою складовою агропромислового виробництва, що забезпечує підготовку зерна до зберігання, подальшого технологічного використання та виготовлення харчової і кормової продукції. Основними технологічними операціями є очищення, сушіння, транспортування, подрібнення, сортування та інші процеси, виконання яких потребує значних витрат теплової й електричної енергії.

Зростання вартості енергетичних ресурсів, необхідність підвищення конкурентоспроможності підприємств і забезпечення стабільності виробничих процесів зумовлюють актуальність упровадження енергоощадних технологій. Особливого значення набуває зменшення питомих витрат енергії без погіршення якісних показників зерна та готової продукції.

Традиційні технологічні лінії не завжди забезпечують раціональне використання енергетичних ресурсів через недостатню автоматизацію, теплові втрати, неузгодженість продуктивності обладнання та використання застарілих приводних систем. Тому перспективним напрямом розвитку зернопереробної галузі є комплексне вдосконалення технологічних процесів на основі енергоефективного обладнання, рекуперації теплоти й цифрових систем керування.

Питання енергоефективності технологічних процесів переробки сільськогосподарської продукції розглядаються в дослідженнях, присвячених оптимізації тепломасообміну, вдосконаленню конструкцій сушильного обладнання та раціональному використанню енергетичних ресурсів. Там систематизовано підходи до підвищення енергетичної ефективності промислового сушіння шляхом удосконалення конструкцій обладнання та режимів його експлуатації [1]. Також розглянуто технологічні особливості сушіння, транспортування та зберігання зерна, що визначають вимоги до організації післязбиральної обробки [2]. Сучасні дослідження також

підтверджують перспективність застосування рекуперації теплоти, теплових насосів та комбінованих способів сушіння для зменшення енергоспоживання [3, 4]. Водночас важливим залишається комплексне оцінювання енергоефективності всього технологічного ланцюга переробки зернової продукції.

Енергоефективність переробки зернової продукції визначається сукупністю технологічних, конструктивних та організаційних факторів. Найбільшого ефекту можна досягти за умови узгодженого вдосконалення окремих операцій та оптимізації роботи всієї виробничої лінії.

Одним із найбільш енергоємних процесів післязбиральної обробки зерна є сушіння. Значна частина теплової енергії витрачається на нагрівання зернової маси та випаровування надлишкової вологи. Перспективними напрямами підвищення ефективності сушильного обладнання є оптимізація температурних режимів, удосконалення систем розподілу сушильного агента, теплоізоляція конструктивних елементів і використання теплоти відпрацьованого повітря.

Особливе значення має застосування систем рекуперації та часткової рециркуляції сушильного агента. Повернення частини теплоти до технологічного процесу дозволяє зменшувати потребу в додатковому нагріванні повітря. Водночас ефективність таких систем залежить від вологості відпрацьованого повітря, конструкції сушарки та характеристик зернової продукції.

Перспективним рішенням є використання теплових насосів, які забезпечують перенесення низькопотенційної теплоти та можуть поєднувати нагрівання і осушення повітря. Їх застосування потребує техніко-економічного обґрунтування з урахуванням продуктивності обладнання, вартості електроенергії та необхідних температурних режимів.

Важливим напрямом енергозбереження є вдосконалення механічних процесів очищення, сортування і транспортування зерна. Застосування енергоефективних електродвигунів, частотно-регульованих приводів та автоматизованого керування дозволяє узгоджувати роботу обладнання з фактичним технологічним навантаженням. Особливо це актуально для вентиляторів, норій, конвеєрів та аспіраційних систем, продуктивність яких може змінюватися залежно від кількості й властивостей зернової маси.

У процесах подрібнення зерна значні енергетичні витрати пов'язані з руйнуванням його структури та подоланням механічного опору. Зменшенню питомого енергоспоживання сприяють раціональний вибір робочих органів, підтримання їхнього належного технічного стану, попереднє очищення зерна та оптимізація режимів подрібнення. Важливим є також забезпечення необхідного гранулометричного складу продукту без надмірного подрібнення.

Окреме місце посідає автоматизація технологічних процесів. Використання датчиків температури, вологості, витрати повітря, електричної потужності та продуктивності обладнання створює можливості для оперативного контролю енергоспоживання. На основі отриманих даних автоматизовані системи можуть

коригувати режими роботи сушарок, вентиляторів та транспортуючих механізмів відповідно до фактичних виробничих умов.

Перспективним напрямом є впровадження цифрового моніторингу енергетичних показників технологічних ліній. Накопичення інформації про витрати енергії, продуктивність і параметри процесів дозволяє виявляти нераціональні режими роботи обладнання. У подальшому такі системи можуть доповнюватися алгоритмами прогнозування енергоспоживання та оптимізації технологічних параметрів.

Важливим показником оцінювання ефективності є питоме енергоспоживання, яке визначається відношенням витраченої енергії до маси переробленої продукції. Для сушіння додатково доцільно враховувати енергію, витрачену на видалення одиниці маси вологи. Порівняння цих показників за однакових умов дозволяє обґрунтовано оцінювати ефективність технологічних рішень.

Отже, впровадження енергоощадних технологій повинно базуватися на комплексному підході, який поєднує модернізацію обладнання, оптимізацію технологічних режимів, повторне використання теплової енергії та автоматизоване керування виробничими процесами.

Підвищення енергоефективності процесів переробки зернової продукції є важливим напрямом удосконалення сучасного агропромислового виробництва. Основними технологічними рішеннями є оптимізація режимів сушіння, використання рекуперації теплоти, впровадження теплових насосів, енергоефективних електроприводів та автоматизованих систем керування.

Список використаних джерел

1. Mujumdar A. S. (ed.). *Handbook of Industrial Drying*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1348 p. DOI: 10.1201/b17208.

2. Mrema G. C., Gumbe L. O., Chepete H. J., Agullo J. O. *Rural Structures in the Tropics: Design and Development*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. Chapter 16: Grain crop drying, handling and storage.

3. Mondal M. H. T., Sarker M. S. H. Comprehensive energy analysis and environmental sustainability of industrial grain drying. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 199. Article 114442. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114442.

4. Bezrodny M. K., Vovk V. V. Energy efficiency of heat pump continuous flow grain dryers. *Energy and Automation*. 2025. DOI: 10.31548/energiya3(79).2025.125.

УДК 631.3:621.365.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРЯНОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАЧА

Степаненко С. П.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України,
Котов Б.І.
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Постановка проблеми. Підвищення енергетичної ефективності теплотехнологічного обладнання потребує вдосконалення способів керування процесом нагрівання та забезпечення рівномірного розподілу температури в робочому об’ємі. Одним із перспективних способів передачі теплоти є індукційний нагрів феромагнітних елементів, який дає змогу формувати внутрішні джерела теплоти без безпосереднього контакту нагрівального елемента з теплоносієм.

Ефективність індукційного нагрівача значною мірою залежить від просторового розподілу потужності тепловиділення та характеру руху теплоносія. Нерівномірність магнітного поля, кінцеві розміри індуктора, ефект скупчення струму та залежність електромагнітних і теплофізичних властивостей матеріалу від температури зумовлюють неоднорідне нагрівання феромагнітного завантаження. Додатково на температурне поле впливають швидкість руху теплоносія, його теплофізичні характеристики та теплові втрати в навколишнє середовище.

Тому для раціонального проектування індукційного теплообмінного обладнання необхідно визначати не лише середню температуру нагрівання, а й просторову структуру температурного поля, інтенсивність тепловиділення та повітрянодинамічні параметри теплоносія. Проведення таких досліджень експериментальними методами є складним і потребує значних матеріальних та часових витрат. Це зумовлює необхідність використання математичного і чисельного моделювання.

Аналіз останніх досліджень. Математичний опис індукційного нагрівання ґрунтується на спільному розгляді електромагнітних і теплових процесів. Електромагнітна складова задачі визначає розподіл густини індукованого струму та потужності тепловиділення у феромагнітному матеріалі, а теплова - подальше поширення енергії в завантаженні та її передачу теплоносію. Для опису електромагнітного поля використовують рівняння Максвелла, тоді як температурна задача базується на рівнянні нестаціонарної теплопровідності Фур’є [1, 2]. У реальних установках безпосереднє спільне розв’язання тривимірної електромагнітної та теплової задачі може бути обчислювально складним. Особливо це стосується конструкцій із групою феромагнітних труб, у

яких розподіл тепловиділення змінюється як уздовж довжини індуктора, так і за глибиною завантаження [3].

Для опису теплообміну між поверхнею феромагнітних труб і теплоносієм застосовуються критеріальні залежності, зокрема рівняння, що пов’язують число Нуссельта з числами Рейнольдса та Прандтля [4]. Такий підхід дозволяє врахувати вплив швидкості руху теплоносія та його теплофізичних властивостей на інтенсивність конвективного теплообміну.

Мета. Метою досліджень є розроблення математичного підходу до визначення повітрянодинамічних характеристик теплоносія та нестаціонарних температурних полів у феромагнітному завантаженні індукційного нагрівача з урахуванням просторової нерівномірності внутрішніх джерел тепла.

Результати. Для математичного моделювання процесу нагрівання розглянуто конструкцію індукційного теплообмінного апарата, у якому теплота генерується у феромагнітних трубах, а потім передається теплоносію. Внаслідок того, що довжина феромагнітного завантаження перевищує довжину індуктора, а геометричні параметри індуктора забезпечують близький до рівномірного характер розподілу магнітного поля в робочій зоні, для теплового розрахунку може бути використана одинична розрахункова область.

Така область містить одну феромагнітну трубу та прилеглий об’єм теплоносія. При цьому на зовнішніх межах приймається умова відсутності теплового потоку. Це означає, що теплообмін між сусідніми розрахунковими комірками не враховується, а отриманий розв'язок для одиничного елемента може бути поширений на весь об’єм завантаження.

Для осі симетрії приймається умова нульового температурного градієнта. На межі контакту феромагнітної труби з теплоносієм задається умова конвективного теплообміну, що пов'язує тепловий потік із різницею температур поверхні труби та теплоносія. На зовнішній межі розрахункової області приймається нульовий тепловий потік.

Інтенсивність конвективного теплообміну визначається коефіцієнтом теплопередачі, який встановлюється через число Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda_f}$$

де (α) - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); (d) - характерний діаметр каналу, м; (λ_f) - теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К).

Визначення числа Нуссельта здійснюється з урахуванням режиму руху теплоносія через критерії Рейнольдса та Прандтля:

$$Re = \frac{\rho_f v d}{\mu_f}; \quad Pr = \frac{c_f \mu_f}{\lambda_f}$$

де (ρ_f) - густина теплоносія; (v) - його середня швидкість; (d) - характерний розмір каналу; (μ_f) - динамічна в'язкість; (c_f) - питома теплоємність.

Таким чином, зміна швидкості повітря безпосередньо впливає на інтенсивність відведення теплоти від феромагнітних труб і, відповідно, на кінцеву температуру теплоносія.

Окремим етапом моделювання є визначення просторового розподілу внутрішніх джерел теплоти. Через обмежену довжину індуктора потужність нагрівання розподіляється нерівномірно вздовж осі та в поперечному напрямку. Додатковий вплив має ефект скупчення електромагнітної енергії в окремих ділянках феромагнітного завантаження.

Для спрощення чисельної моделі просторову функцію тепловиділення можна представити у вигляді добутку двох незалежних складових:

$$q_v(z,r) = q_0, f(z), g(r)$$

де (q_0) - характерний рівень питомої потужності; $(f(z))$ - функція зміни потужності вздовж довжини завантаження; $(g(r))$ - функція її зміни за глибиною.

Функцію розподілу тепловиділення вздовж труби доцільно апроксимувати поліномом четвертого порядку, тоді як залежність за глибиною завантаження може бути представлена поліномом третього порядку. Така апроксимація дає змогу замінити складний масив дискретних електромагнітних розрахунків компактною математичною залежністю, яку можна безпосередньо використовувати у програмному середовищі для теплового моделювання.

На основі отриманого розподілу внутрішніх джерел теплоти проведено чисельне визначення температурного поля в розрахунковій області. При цьому враховано теплофізичні властивості матеріалу труби та теплоносія. Для інженерного розрахунку їх можна задавати за середньою температурою процесу, яка в досліджуваному режимі становить близько 60 °C.

Для оцінювання теплового ефекту індукційної установки використано баланс теплової потужності теплоносія:

$$P = \dot{m} c_p (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

де (P) - теплова потужність, передана теплоносію, Вт; $(\dot{m})$ - масова витрата теплоносія, кг/с; (c_p) - його питома теплоємність, Дж/(кг·К); (T_{in}) і (T_{out}) - температура теплоносія відповідно на вході та виході з нагрівача.

Висновки. Запропоновано двоетапний математичний підхід до моделювання індукційного нагрівання, який передбачає попереднє визначення просторового розподілу внутрішніх джерел теплоти та подальший розрахунок нестаціонарного температурного поля в феромагнітному завантаженні.

Список використаних джерел

1. Степаненко С.П., Калініченко Р.А., Котов Б.І. Ресурсо-енергоефективні технології і технічні засоби для обробки вологого фуражного зерна: Монографія / С.П. Степаненко, Р.А. Калініченко, Б.І. Котов – Ніжин: Видавець Лисенко М.М., 2023.–128с.
2. Котов Б.І., Степаненко С.П., Калініченко Р.А. Електротехнології в процесах післязбиральної обробки, зберігання і переробки зерна. Монографія. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2026.–392с. https://doi.org/10.37204/978-617-640-750-8
3. Shvydia V, Stepanenko S, Kuzmych A, Popadiuk I. (2025) Justification of vacuum parameters for drying wet seed. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1112-1118. https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF284
4. Kaletnik H., Solona O., Kotov B., Stepanenko S., Shvidia V., Kalinichenko R., Tverdokhlib I., Polievoda Y. The usage of the elemental base of the vibratory mill with the spatial circulation movement of material to create drying rig. Przeglad Elektrotechniczny. 2024. Vol. 100, № 3. P. 232-237. https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41

УДК 621.311.24:621.313

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СХЕМИ З'ЄДНАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТА ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НАВЧАЛЬНОГО STEM-КОМПЛЕКТУ

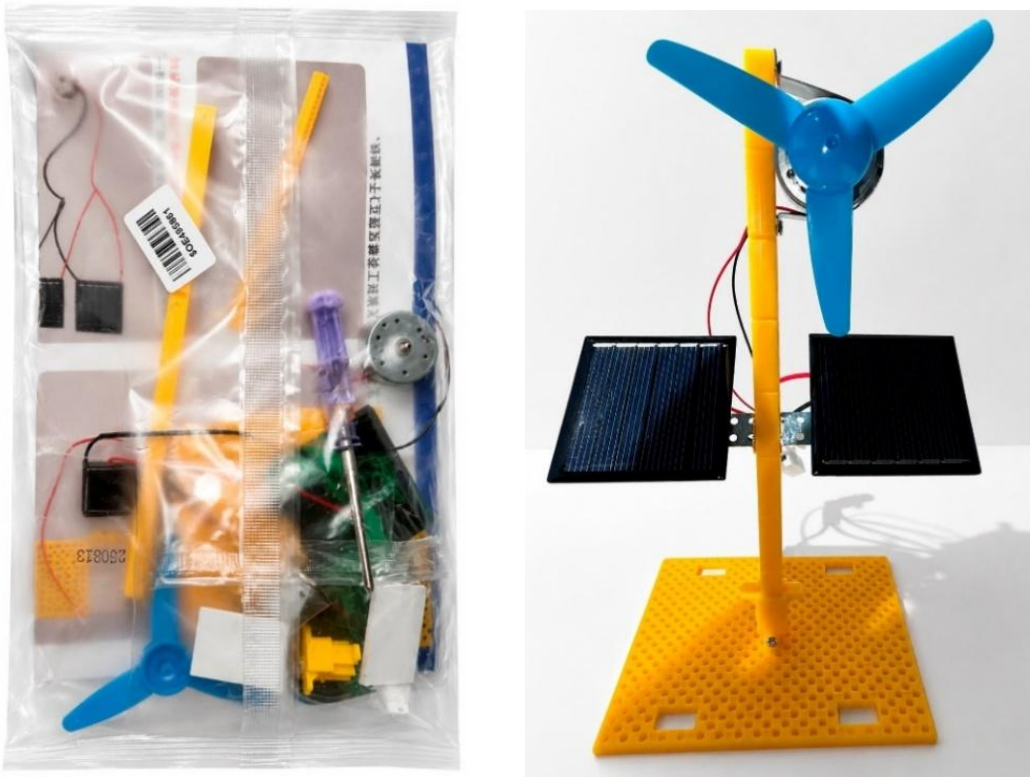
Попов С. В., Бурич В. Р.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток технологій відновлювальної енергетики зумовлює необхідність їх інтеграції в освітній процес закладів вищої освіти. Одним із найефективніших засобів формування практичних компетентностей здобувачів освіти є використання навчальних STEM-комплектів (рис. 1), що дають змогу досліджувати принципи перетворення сонячної енергії в електричну та механічну [1].

Особливу увагу під час виконання лабораторних робіт доцільно приділяти вивченню впливу схеми з'єднання сонячних панелей на режими роботи електродвигуна постійного струму. Саме тому дослідження особливостей послідовного та паралельного з'єднання фотоелектричних модулів є актуальним як з наукової, так і з навчально-методичної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування навчальних фотоелектричних систем та STEM-комплектів для дослідження характеристик сонячних модулів та формування практичних компетентностей здобувачів

освіти розглянуто у працях [2-5]. Експериментальний підхід до визначення електричних параметрів джерел живлення та аналізу режимів їх роботи застосовано в дослідженні [6].



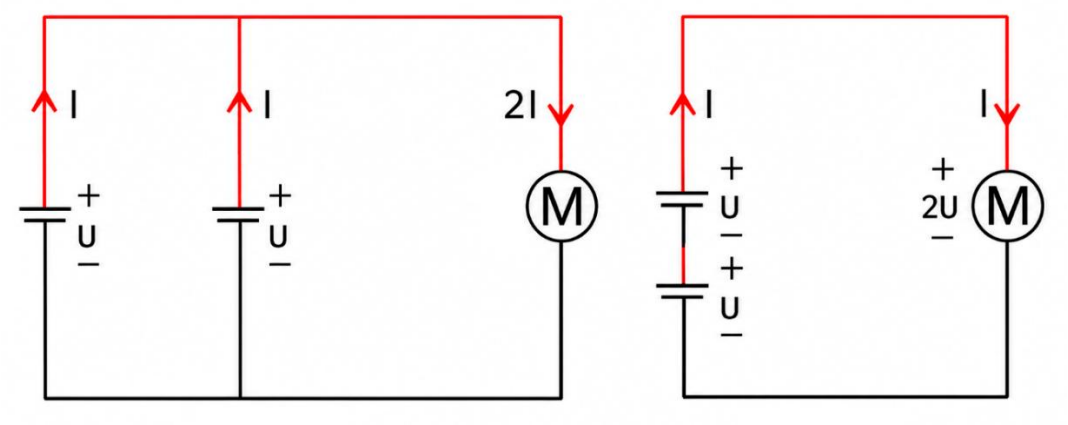
а) б)

Рис. 1. STEM-комплект: а – початковий стан; б – робочий стан

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування навчальних фотоелектричних систем та STEM-комплектів для дослідження характеристик сонячних модулів та формування практичних компетентностей здобувачів освіти розглянуто у працях [2-5]. Експериментальний підхід до визначення електричних параметрів джерел живлення та аналізу режимів їх роботи застосовано в дослідженні [6]. Водночас питання впливу саме схеми з’єднання декількох сонячних панелей на характеристики електродвигуна навчального STEM-комплекту потребує подальшого експериментального дослідження. Електричні параметри фотоелектричних модулів суттєво залежать від способу їхнього з’єднання. За однакових умов освітлення та для однакових модулів при паралельному з’єднанні напруга системи залишається близькою до напруги однієї панелі, а доступна сила струму теоретично збільшується пропорційно кількості модулів. Це створює можливість забезпечення електродвигуна більшим струмом живлення під час запуску або роботи під механічним навантаженням. Паралельне з’єднання доцільне за умов, коли пріоритетним є забезпечення більшої сили струму системи живлення. Послідовне з’єднання характеризується іншим принципом формування вихідних параметрів. У цьому випадку напруга окремих сонячних панелей додається. При послідовному з’єднанні загальна напруга двох однакових панелей визначається сумою напруг

окремих модулів, тоді як сила струму залежить від характеристик панелей та режиму навантаження.

Мета. Метою роботи є експериментальне дослідження впливу схеми з'єднання двох однакових сонячних панелей на електричні параметри системи живлення та частоту обертання електродвигуна навчального STEM-комплекту. Для досягнення поставленої мети проведено порівняльний аналіз функціонування електродвигуна за двох схем підключення сонячних панелей, а саме паралельної та послідовної (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Схеми підключення сонячних панелей:
а – паралельне; б – послідовне

Результати досліджень. Дослідження виконувалося за однакових умов освітлення із застосуванням експериментального стенда, до складу якого входили: дві однакові сонячні панелі, двигун постійного струму, цифровий мультиметр, джерело світла зі стабільною інтенсивністю світлового потоку (рис. 3).

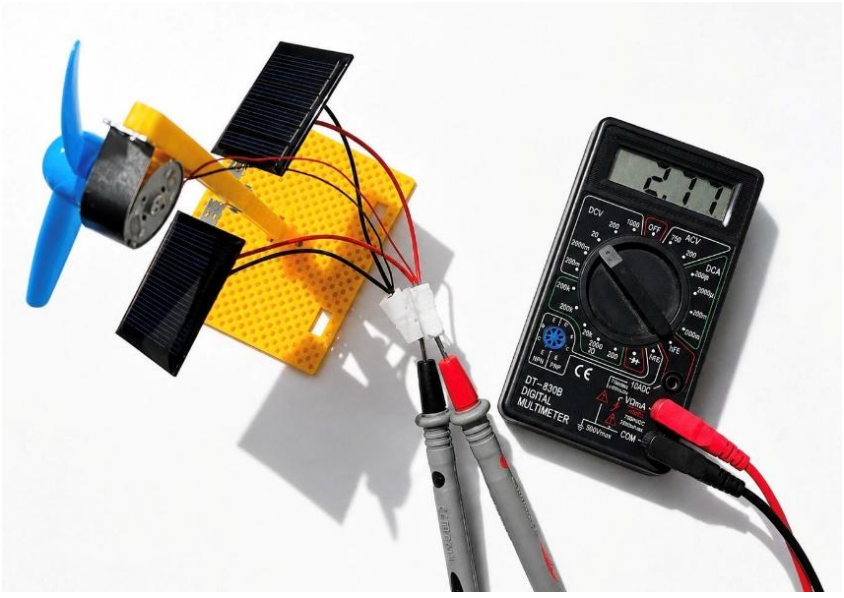


Рис. 3. Вимірювання напруги цифровим мультиметром

Під час виконання експериментальних досліджень вимірювали напругу та силу струму, а частоту обертання електродвигуна визначали за відеозаписом роботи електродвигуна, зробленим камерою смартфона, шляхом підрахунку кількості обертів за відомий проміжок часу, а також розраховували електричну потужність навантаження. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що при паралельному з'єднанні ($U_{х.х.}$ = 3,05 В, $U_н$ = 2,77 В, $I_н$ = 121 мА, n = 1170 об/хв, P = 0,335 Вт) система забезпечує більшу силу струму живлення. Таким чином, паралельна схема може бути доцільною для режимів роботи, що потребують підвищеної сили струму живлення. Водночас при послідовному з'єднанні ($U_{х.х.}$ = 6,12 В, $U_н$ = 5,48 В, $I_н$ = 68 мА, P = 0,373 Вт) частота обертання електродвигуна зросла з 1170 до 2250 об/хв, тобто на 92,3%. За послідовного з'єднання електрична потужність навантаження зросла з 0,335 до 0,373 Вт, тобто на 11,3%. Результати дослідження свідчать про суттєвий вплив напруги живлення на частоту обертання електродвигуна. Вони узгоджуються з теоретичними положеннями електротехніки щодо роботи джерел постійного струму та підтверджують можливість використання навчального STEM-комплекту для демонстрації основних закономірностей функціонування фотоелектричних систем. Використання реального експериментального обладнання сприяє кращому засвоєнню здобувачами освіти понять напруги, сили струму, електричної потужності та особливостей роботи електродвигунів. Крім того, проведення таких досліджень формує навички експериментальної роботи, аналізу отриманих результатів, застосування теоретичних знань під час розв'язання практичних інженерних завдань.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у можливості використання його результатів під час викладання дисциплін «Фізика», «Електротехніка», «Електроніка», «Основи альтернативної енергетики» та інших STEM-орієнтованих освітніх компонентів. Запропонована методика може бути використана під час виконання лабораторних і практичних занять, а також для організації науково-дослідної роботи студентів та учнів закладів загальної середньої освіти. Вона не потребує складного обладнання високої вартості, є наочною та дозволяє демонструвати взаємозв'язок між параметрами джерела живлення та характеристиками електричного привода.

Висновки. Отже, проведене дослідження підтвердило, що схема з'єднання сонячних панелей істотно впливає на напругу, силу струму, потужність системи живлення та частоту обертання електродвигуна. Паралельне з'єднання забезпечує більшу силу струму живлення. Воно може бути доцільним для режимів роботи, що потребують підвищеного струмового навантаження. Послідовне з'єднання забезпечує майже дворазове збільшення напруги живлення (з 2,77 до 5,48 В), що в досліджуваній системі спричинило збільшення частоти обертання електродвигуна на 92,3%. Отримані результати можуть бути використані як методична основа для удосконалення навчальних STEM-комплектів, розроблення нових лабораторних практикумів та проведення подальших досліджень фотоелектричних систем.

Список використаних джерел

1. Левченко Ю.В., Басова Ю.О., Попов С.В. STEM-технології при викладанні дисциплін професійної підготовки інженерів. *Актуальні питання забезпечення якості вищої освіти*: матер. 55 наук.-метод. конф., м. Полтава, ПДАУ, 21-22 лютого 2024 р. Полтава, 2024. С. 165-168. DOI: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28757537.v1

2. Івахнов А. В., Кулапін О. В., Махотіло К. В., Лазуренко О. П., Булгаков О. В., Шокарьов Д. А. STEM-конструктор «Фотоелектрична система» для очної та дистанційної освіти. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* 2024. №12(203). С. 5-20. DOI: https://doi.org/10.20998/2313-8890.2024.12.01

3. Zachariadou K., Yiasemides K., Trougkakos N. A Low-Cost Computer-Controlled Arduino-Based Educational Laboratory System for Teaching the Fundamentals of Photovoltaic Cells. *European Journal of Physics*. 2012. Vol. 33, No. 6. P. 1599-1610.

4. Vijayakumar P., Rajasekar N. Design and Development of Low-Cost Photovoltaic Module Characterization Educational Demonstration Tool // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46, No. 11. P. 5433-5440. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.135

5. Alqahtani A., Alsaffar M., El-Sayed M., Behbehani H. A photovoltaic system experiment in a laboratory environment. *International Journal of Electrical Engineering Education*. 2018. Vol. 55, Is. 1. P. 37-52. DOI: https://doi.org/10.1177/0020720917750956

6. Попов С.В., Левченко Ю.В., Петраш О.В., Попов К.С. Експериментальне дослідження режимів інтелектуального імпульсного зарядного пристрою. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 2024 (1), 122-135. DOI: https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-9

УДК 631.563:537.52

ЕЛЕКТРОПЛАЗМОЛІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ: ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОД ЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ КЛІТИННОЇ СТРУКТУРИ

Мардзявко В. А., Руденко А. Ю.
Миколаївський національний аграрний університет

Актуальність. Підвищення ефективності соковиділення, екстрагування та сушіння рослинної сировини потребує керованої зміни її клітинної структури. Альтернативою енергоємним традиційним методам є електроплазмоліз, який у міжнародній літературі розглядається як електропорація, електропермеабілізація та PEF-обробка.

Мета роботи – дослідити фізичні закономірності електроплазмолізу та визначити електричні параметри, що характеризують ступінь дезінтеграції клітинної структури за результатами реєстрації струму.

Теоретичні основи. У термінології електричної обробки рослинної сировини електроплазмоліз – це електрично індуковане порушення цілісності клітинних мембран і підвищення їх проникності. Під дією електричного поля виникає трансмембранна напруга, яка за перевищення критичного рівня спричиняє утворення пор у мембранах [8]. Зі збільшенням напруженості поля, тривалості та питомої енергії впливу відбувається необоротна електропермеабілізація і руйнування клітин, що сприяє виходу внутрішньоклітинної вологи та інтенсифікації соковиділення, екстрагування, сушіння й масоперенесення.

Електричні параметри процесу. Основним параметром є напруженість електричного поля:

$$E = \frac{U}{d}; \tag{1}$$

де U – напруга між електродами, В; d – відстань між електродами, м. Проходження струму супроводжується джоулевим тепловиділенням. Питома потужність і питома енергія, передана одиниці об'єму матеріалу за час τ, визначаються як:

$$\begin{aligned} p_v &= \sigma E^2; \\ A &= \sigma E^2 \tau \end{aligned} \tag{2}$$

де σ – електропровідність тканини, См/м. Для порівняння режимів з різною тривалістю доцільно використовувати питому енергію обробки на одиницю маси яка за постійних напруги та струму зводиться до $W = \frac{\tau U_t \cdot I_t}{m}$.

$$W = \frac{1}{m}\int_0^{\tau} \tau U_t \cdot I_t \cdot dt \tag{3}$$

Це дозволяє коректно порівнювати досліди, що мають однакову напругу, але різну тривалість чи електропровідність сировини.

Індекс дезінтеграції. Руйнування мембран супроводжується переходом електролітів у міжклітинний простір, тому електропровідність тканини зростає. На цьому ґрунтується індекс дезінтеграції клітинної структури (Cell Disintegration Index):

$$Z = \frac{(\sigma - \sigma_i)}{(\sigma_d - \sigma_i)}; 0 < Z < 1 \tag{4}$$

де $\sigma, \sigma_i, \sigma_d$ – електропровідність обробленого, необробленого та повністю дезінтегрованого зразків. Значення Z = 0 відповідає неушкодженій тканині, Z → 1 – максимальній дезінтеграції. Цей підхід використовується в дослідженнях картоплі, яблук, томатів, цукрового буряка та інших матеріалів [1, 4].

Аналіз досліджень. Lebovka зі співавторами показали, що дію імпульсного електричного поля та нагрівання на тканину цукрового буряка можна кількісно оцінювати за електропровідністю та індексом дезінтеграції [1]. За даними [2], PEF-

обробка в діапазоні 1–7 кВ/см підвищує ефективність твердо-рідинної екстракції сахарози. Для яблучної мезги за E = 650 В/см в промислових умовах вихід соку зріс із 71,1 до 76,3 % [3]. Для картоплі ефективна дезінтеграція досягається за полів порядку 200–1000 В/см та короткої тривалості впливу, при цьому електропорація полегшує дифузію вологи та прискорює сушіння [4]. PEF-обробка фіолетової картоплі підвищує екстракцію антоціанів [5]. Для моркви PEF – ohmic обробка (≈1,33 кВ/см, 100 Гц) прискорює нагрівання, сприяє електропорації клітин і скорочує загальний час бланшування приблизно на 60 % [6]. Отже, основний ефект електричного впливу полягає у зміні структурно-мембранного стану сировини. Умовно режими електричної обробки поділяють на омічне нагрівання – до 100 В/см, помірні електричні поля (MEF) – 100–1000 В/см та PEF – понад 1000 В/см [7]. Експериментальна установка та методика. Лабораторна установка містить мікроскоп, осцилограф, автотрансформатор, вимірювальні прилади, шунт та зразок рослинної сировини між електродами.



Рис. 1 Зовнішній вигляд експериментальної установки для дослідження електроплазмолізу: 1 – біологічний мікроскоп MICROMED; 2 – цифровий осцилограф; 3 – лабораторний автотрансформатор; 4 – мілівольтметр; 5 – мультиметр цифровий MY–64; 6 – дослідний зразок рослинної сировини; 7 – шунт для вимірювання струму

Мікроскоп використовують для оцінки структурних змін клітин. Установка забезпечує контактну електричну обробку рослинної тканини з дослідженням електроплазмолізу (електропермеабілізації). Опір зразка визначають за напругою та струмом. Для кількісної оцінки реєструють напругу, струм, тривалість обробки, температуру, вихід соку або вологи та індекс дезінтеграції \(Z\). Дослідження проводять за напруги 20–100 В, тривалості 1–60 с і для різних видів сільськогосподарської сировини.

Зі збільшенням напруженості поля та питомої енергії обробки зростає електропермеабілізація мембран, що спричиняє збільшення струму, зменшення опору та посилення виходу внутрішньоклітинної вологи. Осцилограма струму може бути використана для оцінки стану клітинної структури. Одночасний вплив електропорації та джоулевого нагрівання зумовлює необхідність контролю температури.

Висновки. Основним фізичним механізмом електроплазмолізу є електропорація клітинних мембран, яка зі збільшенням енергетичної дози переходить в необоротну електропермеабілізацію та дезінтеграцію тканини.

Для кількісного опису процесу доцільно використовувати напруженість поля $E = U/d$, питому енергію w та індекс дезінтеграції Z, а не лише напругу.

Реєстрація осцилограм струму через вимірювальний шунт дозволяє встановити кореляцію I(t) ↔ σ(t) ↔ Z(t) ↔ ступінь руйнування клітин і перейти від якісного спостереження до кількісного електричного контролю стану сировини.

Одночасне вимірювання напруги, струму, часу та температури в поєднанні з мікроскопічним аналізом є найбільш перспективним підходом до розділення електропораційного та теплового ефектів.

Список використаних джерел

1. Lebovka N. I., Shynkaryk M. V., El-Belghiti K., Benjelloun H., Vorobiev E. Plasmolysis of sugarbeet: Pulsed electric fields and thermal treatment. Journal of Food Engineering. 2007. Vol. 80, No. 2. P. 639–644. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.06.020.

2. López N., Puértolas E., Condón S., Raso J., Álvarez I. Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet by pulsed electric fields. LWT – Food Science and Technology. 2009. Vol. 42. P. 1674–1680. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.05.015.

3. Turk M. F., Vorobiev E., Baron A. Improving apple juice expression and quality by pulsed electric field on an industrial scale. LWT – Food Science and Technology. 2012. Vol. 49. P. 245–250. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.07.024.

4. Lebovka N. I., Shynkaryk N. V., Vorobiev E. Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. Journal of Food Engineering. 2007. Vol. 78. P. 606–613. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.032.

5. Puértolas E., Cregenzán O., Luengo E., Álvarez I., Raso J. Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato. Food Chemistry. 2013. Vol. 136. P. 1330–1336. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.080.

6. Astráin-Redín L., Raso J., Álvarez I. et al. New pulsed electric fields approach to improve the blanching of carrots. LWT. 2023. Vol. 189. Art. 115468. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115468.

7. Astráin-Redín L., Ospina S., Cebrián G., Álvarez-Lanzarote I. et al. Ohmic Heating Technology for Food Applications, From Ohmic Systems to Moderate Electric Fields and Pulsed Electric Fields. Food Engineering Reviews. 2024. Vol. 16. P. 225–251.

8. Kotnik T., Rems L., Tarek M., Miklavčič D. Membrane Electroporation and Electropermeabilization: Mechanisms and Models. Annual Review of Biophysics. 2019. Vol. 48. P. 63–91. DOI: 10.1146/annurev-biophys-052118-115451.

УДК 621.327.5:637.1

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ БАКТЕРИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТРАНСПОРТУВАЛЬНОЇ ТАРИ

Семенов А. О.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Санітарний стан транспортувальної тари є одним із чинників, що визначають ризик вторинного мікробіологічного забруднення, наприклад молока. Після механічного миття на внутрішніх поверхнях, у стиках, ущільненнях і важкодоступних місцях можуть залишатися мікроорганізми. Тому практичний інтерес представляє використання UV-C випромінювання, як завершального безреагентного етапу після стандартного очищення тари. Для використання такого способу в агропромисловому виробництві необхідно обґрунтувати електричні, а також енергетичні параметри установки, забезпечити достатню тривалість опромінення та передбачити засоби електричної і фотобіологічної безпеки [1].

Аналіз останніх досліджень. Ефективність ультрафіолетових UV-C систем визначається не тільки номінальною потужністю джерела випромінювання, а й сукупністю режимних, конструктивних та експлуатаційних факторів. На фактично отриману бактерицидну дозу впливають опроміненість, тривалість експозиції, відстань від джерела до оброблюваної поверхні, геометричні параметри ємності, наявність тіньових зон, чистота поверхні та технічний стан випромінювача [2, 3]. Особливого значення набуває забезпечення необхідної дози на найбільш віддалених і найменш опромінених ділянках, оскільки середнє значення опроміненості не завжди характеризує реальні умови знезараження всієї внутрішньої поверхні ємності. Для електротехнічних UV-C систем важливими є також стабільність потоку ультрафіолетового випромінювання в процесі експлуатації, врахування його поступового зниження внаслідок старіння джерела, контроль напрацювання, стану захисного кварцового кожуха та своєчасності заміни випромінювача [4, 5]. Система керування повинна забезпечувати задану тривалість експозиції, автоматичне вимкнення установки після завершення циклу, індикацію режиму роботи та захисне блокування. Таким чином, електричні параметри джерела живлення, потужність UV-C випромінювача і тривалість роботи установки необхідно узгоджувати з необхідною бактерицидною дозою та реальними умовами її формування на оброблюваних поверхнях.

Мета дослідження. Обґрунтувати основні електричні та енергетичні параметри компактної UV-C установки для знезараження транспортувальної тари та визначити фактори, що впливають на вибір режиму роботи.

Результати дослідження. За основу прийнято дослідний зразок УБЗТТ-20, розрахований на оброблення внутрішнього повітряного об’єму та доступних поверхонь ємностей об’ємом до 5 м³. Встановлена електрична потужність UV-C системи становить 20 Вт. Для підвищення мобільності та можливості використання

на молокоприймальних пунктах передбачено низьковольтне живлення постійного струму 12 або 24 В.

Розрахунковий струм споживання визначається співвідношенням I=P/U. При потужності P=20 Вт при напрузі 12 В струм становить близько 1,67 А, а при 24 В – 0,83 А, відповідно. Перехід на 24 В зменшує робочий струм удвічі, що є сприятливим для вибору перерізу провідників та зменшення втрат напруги у електричному колі живлення. Проте обидва варіанти дозволяють використовувати автономне джерело або електричну мережу за умови застосування відповідного блока живлення і захисту.

Для попередньої енергетичної оцінки визначено питому встановлену потужність p_v=P/V. За P=20 Вт і V=5 м3 вона становить 4 Вт/м3. Цей показник характеризує енергетичну складову установки, але не може безпосередньо використовуватися як показник бактерицидної ефективності, оскільки остання залежить від дози випромінювання на конкретній ділянці поверхні.

Основним параметром є тривалість циклу. Споживання електроенергії визначається залежністю W=P·τ. Для потужності 20 Вт за тривалості циклу 5, 10, 15 і 20 хв розрахункове енергоспоживання становить відповідно 1,67; 3,33; 5,00 і 6,67 Вт·год. Проте збільшення тривалості експозиції прямо пропорційно збільшує витрати електроенергії, однак абсолютні значення залишаються невеликими.

Таблиця 1 – Основні електричні та енергетичні параметри установки УБЗТТ-20

Параметр	**Значення**
Потужність UV-C джерела	20 Вт
Напруга живлення	12 або 24 В
Струм споживання	1,67 А (при 12 В); 0,83 А (при 24 В)
Об’єм тари	до 5 м³
Тривалість циклу	5–20 хв
Енергоспоживання за цикл	1,67–6,67 Вт·год

Під час вибору режиму роботи доцільно розглядати не тільки електричну потужність, а комплекс факторів: мінімальну опроміненість найбільш віддалених ділянок, тривалість експозиції, об’єм і геометрію транспортувальної тари, положення UV-C джерела, наявність тіньових зон, чистоту кварцового кожуха та напрацювання випромінювача, а саме УФ-джерела. Зменшення опроміненості через збільшення відстані, забруднення кожуха або складну геометрію ємності потребує коригування тривалості циклу. Тому єдиний фіксований режим для всіх типів тари є недоцільним.

Електрична схема установки повинна передбачати блок живлення, таймер, індикацію режиму, захист від перевантаження за струмом і переполюсування, а також аварійне вимкнення та захисне блокування. Низьковольтне живлення зменшує електричні ризики, проте не усуває небезпеку прямої дії UV-C випромінювання на очі та шкіру персоналу. Тому ввімкнення джерела має бути можливим лише за безпечного положення пристрою та закритого або екранованого об’єму.

Висновки. Для компактної установки УБЗТТ-20 обґрунтовано використання UV-C джерела потужністю 20 Вт із живленням 12 або 24 В постійного струму. Розрахунковий струм становить відповідно 1,67 та 0,83 А, а питома встановлена потужність для ємності 5 м³ – 4 Вт/м3. За тривалості циклу 5–20 хв енергоспоживання становить 1,67–6,67 Вт·год. Визначальним для подальшого вибору режиму є не тільки енергоспоживання, а забезпечення необхідної UV-C дози на найменш опромінених ділянках тари. Подальші дослідження мають бути спрямовані на експериментальне визначення опроміненості в характерних точках ємності та мікробіологічну валідацію режимів оброблення.

Список використаних джерел

1. Semenov A., Sakhno T., Sakhno Y. Photobiological safety of lamps and lamp systems in agriculture. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 2021; Vol. 106, No. 1. P. 34-41. DOI: 10.5604/01.3001.0015.0527

2. Chawla A., Lobacz A., Tarapata J., Zulewska J. UV Light Application as a Mean for Disinfection Applied in the Dairy Industry. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 16. 7285. DOI: 10.3390/app11167285.

3. Sharma A., Mahmoud H., Pendyala B., Balamurugan S., Patras A. UV-C Inactivation of Microorganisms in Droplets on Food Contact Surfaces Using UV-C Light-Emitting Diode Devices. Frontiers in Food Science and Technology. 2023. Vol. 3. 1182765. DOI: 10.3389/frfst.2023.1182765.

4. Semenov A., Skrypnyk V., Farisieiev A., et al. Comprehensive Evaluation of Ultraviolet Disinfection Systems Considering Maintenance, Spectral, and Operational Coefficients. Journal of Chemistry and Technologies. 2026. Vol. 34, No. 1. P. 259–265. DOI: 10.15421/jchemtech.v34i1.342827.

5. Semenov A., Kharak R., Bychkov Y., Dudnyk V., Yeleussinov B. Method of Predicting the Useful Life of Ultraviolet Lamps in Electrotechnical Systems under UV Radiation. Przegląd Elektrotechniczny. 2024. Vol. 100, No. 8. P. 280–283. DOI: 10.15199/48.2024.08.556.

УДК 662.767.2:620.92

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Барсукова Г. В., Сіренко Ю. В.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Зростання потреби у відновлюваних джерелах енергії, необхідність раціонального використання органічних відходів та скорочення негативного впливу енергетики на довкілля зумовлюють підвищення інтересу до біогазових технологій. За останні роки біогазові установки зазнали суттєвих технологічних змін. Основна увага переміщується від простого виробництва біогазу до підвищення ефективності всього технологічного ланцюга: підготовки

сировини, анаеробного зброджування, очищення газу, виробництва біометану, автоматизації та використання дигестату. У зв'язку з цим виникає потреба систематизувати основні тенденції розвитку та порівняти їх за технологічними, енергетичними, економічними й екологічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підтверджують значний потенціал анаеробного зброджування сільськогосподарських відходів для виробництва біогазу та відновлюваної енергії. В науковій праці Alengebawy та інш. розглядають біогазові технології як складову циркулярної біоекономіки, що поєднує утилізацію відходів, енергетичне відновлення та повернення поживних речовин [1]. Науковці Jameel та інш. систематизують властивості біогазу, напрями його використання, економічні аспекти та основні проблеми розвитку технології [2]. Окремий напрям сучасних досліджень становлять технології очищення та модернізації біогазу до біометану. Автори Aworanti та інш. аналізують сучасні методи підвищення виходу та якості біогазу, а також технології його модернізації [3]. Науковці Miranzadeh та інш. узагальнюють результати ко-зброджування осадів стічних вод з органічними відходами, що підтверджує перспективність комбінування різних субстратів [4]. В працях Sher та інш. характеризуються нові технології виробництва біогазу та визначаються основні напрями їх подальшого вдосконалення [5].

Метою дослідження є аналіз основних тенденцій розвитку біогазових установок, переваги та недоліки їх.

Результати дослідження. Розвиток біогазових установок відбувався за кількома взаємопов'язаними напрямами. Розширення сировинної бази. Поряд із традиційним використанням гною все ширше розглядаються рослинні рештки, харчові та побутові органічні відходи, осади стічних вод та побічні продукти агропромислового виробництва [1; 4]. Поширення ко-зброджування. Комбінування декількох субстратів дає змогу коригувати їх поживний склад, підвищувати стабільність процесу та потенціал утворення метану. Вдосконалення попередньої підготовки сировини. Для лігноцелюлозних матеріалів застосовують механічні, термічні, хімічні, біологічні та комбіновані методи. Їх призначення полягає у руйнуванні структури субстрату та підвищенні доступності органічної речовини для мікроорганізмів. Перевагою є можливість збільшення виходу біогазу, однак додаткові енергетичні та капітальні витрати обмежують універсальність таких технологій. Інтенсифікація анаеробного процесу. Досліджуються нові конструкції реакторів, біоелектрохімічні системи, мікроелементи, електропровідні матеріали, біологічні добавки та інші способи стабілізації процесу [3; 5]. Перехід від використання сирого біогазу до його очищення та виробництва біометану. Видалення діоксиду вуглецю, сірководню, водяної пари та інших домішок підвищує якість газу й розширює можливості його використання. Біометан може застосовуватися як паливо, енергетичний ресурс та замінник природного газу [2; 3; 5]. Цифровізація та автоматизація. Сучасні установки орієнтуються на постійний моніторинг температури, pH, органічного навантаження, газоутворення та інших параметрів. Це створює умови для оперативного виявлення відхилень і оптимізації режимів роботи, хоча потребує відповідного обладнання, програмного забезпечення та кваліфікованого персоналу [1; 5]. Посилення ролі техніко-економічної оцінки. Окрім виходу біогазу та метану, необхідно враховувати

капітальні й експлуатаційні витрати, витрати на підготовку та транспортування сировини, енергоспоживання допоміжного обладнання, можливість реалізації електричної та теплової енергії, а також біометану [2; 6].

Таблиця 1 – Порівняльна оцінка тенденцій розвитку біогазових установок

Тенденція	Основний ефект	Переваги	Основні обмеження
Розширення сировинної бази	Збільшення ресурсного потенціалу	Використання різних органічних відходів	Нерівномірність складу та доступності сировини
Ко-зброджування	Підвищення стабільності та потенціалу метаноутворення	Гнучкість, оптимізація складу субстрату	Необхідність підбору оптимального співвідношення компонентів
Попередня обробка	Підвищення біодоступності субстрату	Збільшення виходу біогазу	Додаткові енерговитрати та капітальні витрати
Інтенсифікація зброджування	Підвищення продуктивності	Скорочення обмежень традиційного процесу	Технологічна складність
Термофільне зброджування	Прискорення окремих стадій процесу	Висока потенційна продуктивність	Ризик нестабільності процесу
Очищення біогазу на біометан	Підвищення якості газу	Розширення сфер використання	Витрати на очищення та модернізацію
Цифровізація	Оптимізація управління	Моніторинг, прогнозування, автоматизація	Вартість обладнання та програмних систем
Використання дигестату	Повернення поживних речовин	Зменшення відходів, циркулярність	Необхідність контролю якості
Техніко-еконо-мічна оцінка	Обґрунтованість проектних рішень	Урахування витрат і доходів	Залежність від локальних умов

Але жодна окрема технологічна тенденція не визначає ефективність біогазової установки. Попередня обробка може збільшувати вихід метану, але супроводжується додатковими витратами; інтенсифікація підвищує

продуктивність, проте ускладнює систему керування; виробництво біометану розширює можливості використання газу, але потребує додаткового очищення. Тому оцінювання має здійснюватися за сукупністю енергетичних, економічних, технологічних та екологічних показників [3; 6].

Висновок. Розвиток біогазових установок характеризувався переходом до комплексної оптимізації технологічного процесу. Узагальнення результатів свідчить про поступовий перехід від локальних установок, орієнтованих переважно на утилізацію відходів і виробництво електричної та теплової енергії, до комплексних біоенергетичних систем. У таких системах поєднуються підготовка та комбінування сировини, контроль процесу, виробництво біогазу або біометану, автоматизація, когенерація та використання дигестату [1-6]. Кожна технологія має власне поєднання переваг та обмежень, тому вибір конкретного рішення повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці енергетичних, економічних, технологічних та екологічних показників.

Список використаних джерел

1. Alengebawy A., Ran Y., Osman A. I., Jin K., Samer M., Ai P. Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: a review. Environmental Chemistry Letters. 2024. Vol. 22. P. 2641–2668. DOI: 10.1007/s10311-024-01789-1.

2. Jameel M. K., Mustafa M. A., Ahmed H. S., Mohammed A. J., Ghazy H., Shakir M. N., Lawas A. M., Mohammed S. K., Idan A. H., Mahmoud Z. H., Sayadi H., Kianfar E. Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. Results in Chemistry. 2024. Vol. 7. Article 101549. DOI: 10.1016/j.rechem.2024.101549.

3. Aworanti O. A., Ajani A. O., Agbede O. O., Agarry S. E., Ogunkunle O., Laseinde O. T., Kalam M. A., Fattah I. M. R. Enhancing and upgrading biogas and biomethane production in anaerobic digestion: a comprehensive review. Frontiers in Energy Research. 2023. Vol. 11. Article 1170133. DOI: 10.3389/fenrg.2023.1170133.

4. Miranzadeh M. B., Jafarsalehi M., Akram J., Ebrahimi M., Mazaheri A., Mashayekh M. Boosting biogas production in the wastewater treatment plants: A narrative review on co-digestion of sewage sludge with internal and external organic waste. Bioresource Technology Reports. 2024. Vol. 26. Article 101856. DOI: 10.1016/j.biteb.2024.101856.

5. Sher F., Smječanin N., Hrnjić H., Karadža A., Omanović R., Šehović E., Sulejmanović J. Emerging technologies for biogas production: a critical review on recent progress, challenges and future perspectives. Process Safety and Environmental Protection. 2024. Vol. 188. P. 834–859. DOI: 10.1016/j.psep.2024.05.138.

6. Kumar D. J. P., Mishra R. K., Chinnam S., Binnal P., Dwivedi N. A comprehensive study on anaerobic digestion of organic solid waste: A review on configurations, operating parameters, techno-economic analysis and current trends. Biotechnology Notes. 2024. Vol. 5. P. 33–49. DOI: 10.1016/j.biotno.2024.02.001.

УДК 621.316.54:621.313

СТІЙКІСТЬ НАНОКОМПОЗИТНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ЗА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ АГРОПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Ставинський А. А.
Миколаївський національний аграрний університет

Повторні пуски електроприводів насосних станцій і зерносушильних комплексів створюють змінні навантаження на ізоляцію комутаційного обладнання. Її стійкість слід оцінювати з урахуванням матеріалу, конструкції вузла та режиму роботи [1].

Часткові розряди в епоксидній ізоляції пов’язані з дефектами та електричним напруженням [2]. Для обмоткових проводів двигунів із широтно-імпульсним живленням напруга початку розрядів залежить від температури й геометрії [3]. У роботі [1] досліджено нанокомпозитні конфігурації для агропромислових систем; для їх порівняння потрібно розмежувати вплив наповнювача, екранування та способу пуску.

Порівняти зміни електричних властивостей ізоляції за опублікованими результатами випробувань та обґрунтувати критерії її оцінювання для високовольтних вимикачів насосних станцій і зерносушильних комплексів.

Узагальнено дані роботи [1] для ненаповненої епоксидної смоли, композиту з діоксидом кремнію та конфігурації з гексагональним нітридом бору й внутрішнім екрануванням. Розмір частинок наповнювачів – 80–120 нм, масова частка – 8 %. Програма включала 1000 пускових циклів, термоциклювання в діапазоні 25–95 °C, вібраційні випробування й аналіз часткових розрядів. Відносне зменшення показників обчислено щодо їхніх початкових значень.

Таблиця 1.

Зменшення електричних показників після навантаження

Матеріал або конфігурація	Зменшення питомого опору, %	Зменшення пробивної напруги, %
Епоксидна смола	47,5	25,7
Композит із діоксидом кремнію	17,1	9,8
Композит із нітридом бору та внутрішнім екрануванням	7,3	7,1

Джерело: розраховано за початковими та кінцевими значеннями таблиці 1 роботи [1].

Після 1000 циклів напруга початку часткових розрядів становила 3,6 кВ для епоксидної смоли, 4,7 кВ для композиту з діоксидом кремнію та 5,5 кВ для екранованої конфігурації [1]. Вимірювання часткових розрядів потребує

калібрування та зіставних умов випробування згідно з IEC 60270:2025 [4].

Моделювання вузлів у роботі [1] показало зменшення максимальної напруженості поля з 8,6 до 5,4 кВ/мм, а максимальної температури – з 96,2 до 78,8 °C при переході від базової до екранованої конфігурації. Оскільки змінювалися і матеріал, і конструкція вузла, ці відмінності характеризують їхній спільний вплив. Окремий ефект наповнювача за наведеними даними визначити неможливо.

На стенді з двигуном потужністю 7,5 кВт середній пусковий струм становив 5,6 номінального струму за прямого пуску та 2,1 – за частотного керування [1]. Приріст температури зменшився з 24,7 до 9,5 °C, тобто на 61,5 %. Це відносна зміна температурного приросту; вона не визначає кількість теплоти або економію електроенергії. Вплив перетворювача на ізоляцію двигуна й високовольтного вимикача слід оцінювати окремо з урахуванням схеми живлення.

До критеріїв оцінювання належать зміни питомого опору й пробивної напруги, напруга початку розрядів, максимуми поля та температури. Під час перевірки на реальному обладнанні слід враховувати частоту пусків, вологість і забруднення. Для прогнозування строку служби потрібні експлуатаційні дані; для перевірки статистичної значущості – первинні результати та обсяг вибірки.

Нанокомпозитні конфігурації краще зберігали електричні властивості після навантаження, ніж ненаповнена епоксидна смола. Найменші зміни отримано за поєднання нітриду бору з внутрішнім екрануванням. Керований пуск зменшував пусковий струм і приріст температури у випробуваній схемі. Вибір ізоляції потребує одночасної перевірки матеріалу, конструкції та режимів пуску.

Список використаних джерел

1. Stavinskiy A., Vakhonina L., Martynenko V., Mardziavko V., Rudenko A. The influence of dynamic operating modes of electric drives of pumping stations and grain drying complexes on the degradation of nanocomposite insulation of high-voltage circuit breakers: Measurement results and recommendations for agricultural engineering. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. 2026. Vol. 30, No. 2. P. 76–95. DOI: 10.56407/bs.agrarian/2.2026.76.

2. Verginadis D., Karlis A., Danikas M. G., Antonino-Daviu J. A. Investigation of Factors Affecting Partial Discharges on Epoxy Resin: Simulation, Experiments, and Reference on Electrical Machines. Energies. 2021. Vol. 14, No. 20. Article 6621. DOI: 10.3390/en14206621.

3. Lusuardi L., Cavallini A., Gómez de la Calle M., Martínez-Tarifa J. M., Robles G. Insulation design of low voltage electrical motors fed by PWM inverters. IEEE Electrical Insulation Magazine. 2019. Vol. 35, No. 3. P. 7–15. DOI: 10.1109/MEI.2019.8689431.

4. IEC 60270:2025. High-voltage test techniques – Charge-based measurement of partial discharges. IEC, 2025. https://webstore.iec.ch/en/publication/65087

УДК 631.3:633.1:664.8:536.2

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИХ ПОЛІВ ЗЕРНА ПІД ЧАС ІНФРАЧЕРВОНОЇ ОБРОБКИ

Степаненко С. П.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України,
Калініченко Р. А.
ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

Постановка проблеми. Підвищення ефективності післязбиральної обробки зернової сировини без погіршення її технологічних і біологічних властивостей залишається актуальним завданням агропромислового виробництва. Одним із перспективних напрямів інтенсифікації теплових процесів є застосування інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, яке дає змогу безпосередньо передавати енергію зерновому матеріалу та скорочувати тривалість теплового впливу. Водночас технологічна ефективність ІЧ-обробки визначається не тільки кількістю підведеної енергії, а й характером її розподілу всередині зернівки. Зерно є біологічним капілярно-пористим матеріалом зі складною внутрішньою будовою, неоднорідним хімічним складом та анізотропними властивостями. У процесі опромінення температура та вологовміст у різних точках зернівки змінюються неоднаково, формуючи нестаціонарні внутрішні поля.

Експериментальне визначення таких полів ускладнене малими розмірами зернівки та високою швидкістю тепломасообмінних процесів. Тому для обґрунтування режимів ІЧ-обробки доцільно використовувати математичне моделювання, яке дає можливість визначати просторово-часову зміну температури і вологовмісту без необхідності проведення великої кількості трудомістких експериментів.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження теплової та волого-теплової обробки зернової сировини показують перспективність використання фізичних методів енергетичного впливу, зокрема інфрачервоного випромінювання [1]. Основною перевагою такого способу є можливість інтенсивного підведення енергії до матеріалу за відносно короткий проміжок часу. Для узагальнення результатів застосовують безрозмірні критерії подібності, серед яких критерій Фур'є, критерії Кирпічова, Ликова, Коссовича та Поснова [2]. Такий підхід дає змогу зменшити кількість незалежних змінних та представити результати у формі, придатній для розрахунку різних режимів тепловологісної обробки.

Окрему увагу необхідно приділяти нерівномірності поглинання ІЧ-випромінювання. Відповідно до закону Бугера інтенсивність випромінювання зменшується зі збільшенням глибини проникнення в матеріал. Тому на початковому етапі нагрівання температура в приповерхневих шарах зернівки може істотно відрізнятися від температури її центральної частини. Надалі

температурні градієнти поступово змінюються внаслідок теплопровідності, а переміщення вологи додатково впливає на тепловий стан матеріалу.

Таким чином, існує необхідність подальшого розвитку математичних моделей, які одночасно враховують нестаціонарний характер температурного поля, зміну вологовмісту та особливості проникнення ІЧ-випромінювання всередину зернівки.

Мета. Метою досліджень є розроблення та обґрунтування математичного підходу до визначення нестаціонарних температурно-вологісних полів усередині зернівки під час інфрачервоної обробки та встановлення впливу основних режимних параметрів на перебіг внутрішнього тепломасоперенесення.

Результати. Для математичного опису процесу зернівку прийнято як тіло сферичної форми з відповідними теплофізичними та масообмінними характеристиками. Таке припущення дозволяє використати аналітичні залежності для нестаціонарного перенесення теплоти і вологи у сферичному тілі та адаптувати їх до умов ІЧ-обробки зернової сировини.

Внутрішній тепловий стан зернівки визначається рівнянням нестаціонарної теплопровідності, а зміна вологовмісту – рівнянням вологоперенесення. Обидва процеси є взаємопов'язаними, оскільки температура впливає на інтенсивність переміщення та випаровування вологи, а зміна вологовмісту, у свою чергу, впливає на теплофізичні характеристики матеріалу.

Для аналізу процесу використано безрозмірні параметри. Основним часовим критерієм є число Фур’є

$$Fo = \frac{a\tau}{R^2}$$

де (a) - коефіцієнт температуропровідності зерна, м²/с; (τ) - тривалість обробки, с; (R) - характерний радіус зернівки, м.

Залежність температурного стану від інтенсивності теплообміну може бути представлена через критерій Кирпічова

$$Ki_q = \frac{qR}{\lambda \Delta T}$$

де (q) - інтенсивність теплового потоку, Вт/м²; (λ) - коефіцієнт теплопровідності зерна, Вт/(м·К); (ΔT) - характерна різниця температур.

Уведення безрозмірної координати

$$r^* = \frac{r}{R}$$

дає можливість описувати стан будь-якої точки зернівки незалежно від її абсолютного розміру. Відповідно, температурний стан може характеризуватися безрозмірною температурою

$$\Theta = \frac{T(r,\tau) - T_0}{T_s - T_0}$$

де $(T(r,\tau))$ - температура в заданій точці зернівки у певний момент часу; (T_0) - початкова температура зерна; (T_s) - характерна температура його поверхні.

Розрахункова схема передбачає, що ІЧ-випромінювання поглинається зерновим матеріалом нерівномірно. Його інтенсивність зменшується зі

збільшенням глибини проникнення, що відповідає експоненційному характеру ослаблення випромінювання. Унаслідок цього на початку процесу виникає температурний градієнт між поверхневими та внутрішніми шарами зернівки. Подальше вирівнювання температури відбувається внаслідок теплопровідності.

Важливим результатом моделювання є можливість одночасного визначення температурного та вологісного стану зерна. На першій стадії обробки переважає накопичення теплової енергії, тоді як зміна загального вологовмісту є відносно невеликою. Після досягнення температури, за якої активізується випаровування, характер процесу змінюється: частина підведеної теплоти витрачається на фазовий перехід вологи, а її переміщення від внутрішніх шарів до поверхні стає визначальним фактором подальшого перебігу процесу.

Таким чином, температурне поле зернівки доцільно розглядати не як однорідну величину, а як функцію координати та часу ($T = T(r, \tau)$). Аналогічно вологовміст описується залежністю ($U = U(r, \tau)$). Такий підхід дає змогу встановити температурно-вологісний стан окремих шарів зернівки та визначити момент, коли поверхневі й внутрішні області досягають заданих технологічних параметрів. Особливо важливим є те, що використання безрозмірних залежностей створює передумови для перенесення встановлених закономірностей на зерно інших культур. Отже, математичний опис може бути використаний як основа для інженерного розрахунку параметрів обладнання та прогнозування результатів ІЧ-обробки різних видів зернової сировини.

Висновки. Обґрунтовано доцільність використання математичного моделювання для дослідження нестаціонарного тепломасоперенесення всередині зернівки під час інфрачервоного опромінення. Такий підхід дає змогу визначати просторово-часові зміни температури та вологовмісту, які складно встановити безпосередньо експериментальними методами. Використання безрозмірних критеріїв подібності створює основу для узагальнення результатів та розроблення інженерних залежностей для вибору режимів ІЧ-обробки зернової сировини з урахуванням її геометричних і теплофізичних характеристик.

Список використаних джерел

1. Котов Б.І., Степаненко С.П., Калініченко Р.А. Електротехнології в процесах післязбиральної обробки, зберігання і переробки зерна. Монографія. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2026. с.: іл. https://doi.org/10.37204/978-617-640-750-8

2. Kalinichenko R., Kotov B., Lukach V., Stepanenko S., Kuzmych A., Gerasymenko V., Hryshchenko V., Kushnirenko A., Borkhalenko Y. Pattern identification and modeling of energy-efficient operating modes in grain micronization. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine), Vol. 13(1), pp. G20–G31.* https://doi.org/10.21272/jes.2026.13(1).g3

3. R. Kalinichenko, V. Bandura, B. Kotov, Y. Pantsyr, I. Garasymchuk, S. Stepanenko. Kinetics of grain material drying in installations with intermittent energy supply by microwave and infrared radiation. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 16(1), 2026. 62–66.* https://doi.org/10.35784/iapgos.7318

УДК 621.311.1

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК СКЛАДОВА ЦИФРОВІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Таран А. В.
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Розвиток розподільчих електричних мереж пов’язаний із розширенням можливостей автоматизованого отримання, передавання та використання даних про режими електроспоживання. Цифровізація охоплює впровадження сучасних засобів обліку, програмних рішень і формування єдиного інформаційного середовища. Водночас актуальною залишається проблема забезпечення достовірності, своєчасності та повноти облікової інформації, що зумовлює необхідність подальшого дослідження можливостей автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії.

Аналіз останніх досліджень. Окремі аспекти цифрової трансформації електроенергетики, розвитку Smart Grid, інтелектуального обліку та моніторингу розподільчих електричних мереж досліджували О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, І. В. Блінов, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко, Ю. В. Томашевський, Д. С. Щербатий, Б. С. Стогній, М. Ф. Сопель та ін.

Мета – визначити роль автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії у цифровізації розподільчих електричних мереж.

Результати досліджень. Цифрова трансформація електроенергетики безпосередньо пов’язана з розвитком інтелектуальних електричних мереж, удосконаленням інформаційного обміну та зміною підходів до взаємодії між окремими елементами електроенергетичної системи. У сучасних дослідженнях зазначені процеси розглядаються у контексті поширення технологій Smart Grid та формування більш інтегрованого інформаційного середовища енергетики [1, с. 5–6]. За таких умов особливого значення набувають автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, через які забезпечується систематичне отримання, передавання та подальше використання даних про режими електроспоживання.

Варто зазначити, що необхідність їх упровадження значною мірою визначається недоліками традиційної моделі обліку, за якої знімання показань, передавання інформації та формування відповідних масивів даних залишаються розмежованими у часі й організаційно. Це ускладнює одержання достовірного балансу електроенергії, оперативне виявлення відхилень та встановлення ділянок із підвищеними втратами. Одним із напрямів подолання зазначених обмежень є застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), функціонування яких ґрунтується на автоматизованому збиранні, передаванні, накопиченні та обробленні даних, отриманих від приладів обліку. Їх використання забезпечує формування єдиного інформаційного масиву щодо фактичних обсягів і режимів електроспоживання

та створює відповідну інформаційну основу для подальшого аналізу роботи розподільчої мережі.

Практичне значення такого переходу особливо чітко простежується під час оцінювання діючої організації обліку на рівні конкретного оператора системи розподілу. Зокрема, у результаті аналізу організації обліку в АТ «Сумиобленерго» встановлено, що ручне знімання показань, відсутність автоматизованого обміну між первинним рівнем обліку та розрахунковими системами, а також обмежені можливості каналів зв'язку істотно звужують інформаційну основу управління розподільчою мережею.

У таких умовах упровадження АСКОЕ створює можливість перейти до систематизованого контролю параметрів електроспоживання на різних рівнях розподільчої мережі. Зібрані дані можуть використовуватися для зіставлення показників окремих точок обліку, визначення фактичних режимів навантаження, уточнення структури втрат та своєчасного виявлення відхилень у роботі мережі. Як зазначає О. Б. Бурикін та ін., застосування даних інтелектуального обліку підвищує достовірність оцінювання стану розподільної електричної мережі за різного обсягу вхідної інформації [2, с. 141]. Важливого значення при цьому набувають точність вимірювальних засобів, надійність каналів передавання інформації, синхронізація даних та можливості програмного забезпечення щодо їх накопичення й подальшого опрацювання.

Подальше використання інформації АСКОЕ пов'язане з її інтеграцією у загальну систему цифрового моніторингу електроенергетичних об'єктів. Розвиток Smart-моніторингу забезпечує систематичне одержання й опрацювання даних про поточний стан обладнання та режими функціонування електроенергетичної системи [3, с. 51]. У цьому контексті АСКОЕ формує інформаційну основу для контролю небалансів, аналізу навантажень, оцінювання втрат та підготовки управлінських рішень.

Висновки. Можна констатувати, що упровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії виступає важливою складовою цифровізації розподільчих електричних мереж, оскільки сприяє підвищенню точності обліку, оперативності контролю та інформаційної забезпеченості процесів управління.

Список використаних джерел

1. Кириленко О. В., Денисюк С. П., Блінов І. В. Цифрова трансформація енергетики: сучасні тенденції та завдання. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 65. С. 5–14. DOI: https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005.

2. Бурикін О. Б., Малогулко Ю. В., Томашевський Ю. В., Щербатий Д. С. Оцінка стану розподільної електричної мережі за різної повноти вхідних даних. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2022. № 1 (305). С. 141–144. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-305-1-141-144.

3. Кириленко О. В., Стогній Б. С., Денисюк С. П., Сопель М. Ф. Smart-моніторинг електроенергетичних систем. *Технічна електродинаміка*. 2024. № 5. С. 48–62. DOI: https://doi.org/10.15407/techned2024.05.048.

УДК 620.9

ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Юрченко О. Ю., Майборода О.В., Приходько О.М.
Сумський національний аграрний університет

Керування швидкістю руху будь-якої технологічної установки є можливість здійснювати з використанням частотного перетворювача. Робота такого технологічного устаткування базується на зміні частоти магнітного поля. Зі зменшенням частоти відбувається зменшення швидкості обертання валу приводного електричного двигуна і навпаки. Закономірність такого процесу регулювання швидкості обертання валу електричного двигуна для потокової лінії зображено нижче у вигляді виразу 1:

$$n = \frac{60f}{p}, \text{ де:} \quad (1)$$

n – синхронна частота, об/хв;
f – частота струму, Гц;
p – кількість пар полюсів.

У формулі (1) представлено закономірність зміни частоти обертання валу електричного двигуна шляхом зміни частоти магнітного поля. В даному виразі чітко прослідковується залежність збільшення швидкості обертання (n) валу електричного двигуна зі збільшенням частоти струму (f). Кількість пар полюсів (p) при цьому є незмінною для конкретно обраного для розрахунків електричного двигуна.

Тому, в даному випадку, доцільним є представлення графічним та цифровим способом залежності швидкості обертання валу електричного двигуна від частоти струму для електричних двигунів 750, 1000, 1500, 3000 об/хв. Для цього необхідним є чітке зазначення кількості пар полюсів для кожного з перерахованих електричних двигунів.

Загальну залежність швидкості обертання валу електричного двигуна для всіх перерахованих електричних двигунів з 1 – 4 парами полюсів при зміні частоти струму представлено в таблиці 1, а також графічно у вигляді діаграми рисунку 1.

З даних, представлених в таблиці 1, прослідковується чітка закономірність збільшення швидкості обертання валу привідного електричного двигуна при збільшенні частоти струму. Аналогічним чином, відбувається зменшення швидкості обертання валу електричного двигуна при зменшенні частоти струму. Кожна закономірність є незмінною для конкретно визначеного електричного двигуна з тим чи іншим набором по кількості пар полюсів.

Зокрема, чітко прослідковується, що електричний двигун з однією парою полюсів має найбільшу швидкість обертання за однієї і тієї ж самої частоти струму, порівнюючи з двигуна з двома, трьома і чотирма парами полюсів. Найменшу швидкість обертання за однієї і тієї ж самої швидкості має електричний двигун з виконанням з чотирма парами полюсів.

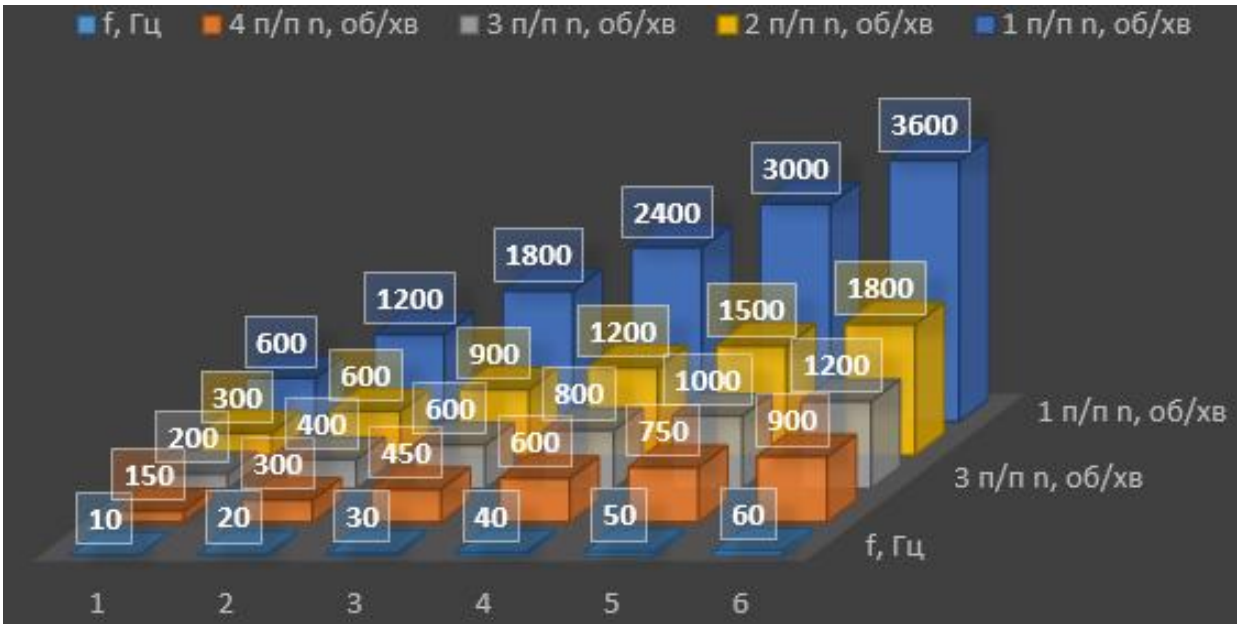


Рис. 1. Залежність швидкості обертання валу електродвигуна в залежності від частоти струму

Таблиця 1 – Залежність швидкості обертання валу електродвигуна в залежності від частоти струму

f, Гц	Швидкість обертання валу ЕД, об/хв, для к-сті пар полюсів			
	4 п/п	3 п/п	2 п/п	1 п/п
10	150	200	300	600
20	300	400	600	1200
30	450	600	900	1800
40	600	800	1200	2400
50	750	1000	1500	3000
60	900	1200	1800	3600

Таким чином, представлений метод керування швидкістю обертання електродвигунів є досить надійним та ефективним для використання в електроустановках.

Список використаних джерел

1. Юрченко, О. Ю., & Барсукова, Г. В. (2021). Використання частотного перетворювача – дієвий та зручний спосіб регулювання швидкості насосного агрегату. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія:

Механізація та автоматизація виробничих процесів, (3 (45), 57-63. https://doi.org/10.32845/msnau.2021.3.8

2. Юрченко О.Ю. Спосіб розгону та гальмування електродвигуна частотним перетворювачем. / О.Ю. Юрійович // XXII Міжнародна наукова конференція "Сучасні проблеми землеробської механіки", присвячена пам'яті академіка П.М. Василенка (17-19 жовтня 2021 року). Ніжин-Київ. 2021. 252 р.– С 171-172.

3. Юрченко О.Ю. Аналіз функціональних можливостей роботи перетворювачів частоти. / О.Ю. Юрченко // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції "Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі" (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.) Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 564-566.

УДК 621

ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПРЕСОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Юрченко О. Ю., Приходько О. М., Майборода О. В.
Сумський національний аграрний університет

Умови функціонування компресорного устаткування для різних підприємств різняться між собою. На елеваторах та зерносховищах, а також підприємствах переробної галузі, стиснене повітря від компресорів використовується майже на кожному з етапів приймання, очищення, сушіння, а також зберігання та відвантаження зернової маси. Воно є основою для реалізації процесів автоматизації та забезпечення безпеки підприємства.

Зокрема, компресорна установка для зернових елеваторів, складів, сушок тощо, використовується з метою:

- приведення в дію пневмоциліндрів засувок та перекидних клапанів;
- шиберних затворів;
- фотосепараторів;
- аспіраційних систем;
- переміщення відходів;
- подачі зерна;
- обдування та рчищення;
- аерації;
- інших процесів.

В компресорному устаткуванні використовуються зазвичай як гвинтові, так і поршневі компресори. Приведення їх в дію відбувається за рахунок обертового моменту електричних двигунів. Вмикання або вимикання компресора може бути здійсненим як в ручному, так і в автоматизованому режимах. В ручному режимі вмикання або вимикання компресора відбувається

натисканням оператором на кнопки керування. В автоматизованому режимі вмикання та вимикання реалізується через датчики автоматизації технологічних процесів. Найчастіше в якості таких датчиків виступають реле тиску, рівня, температури, вологості, часу тощо.

Найбільш розповсюдженими для автоматизації роботи компресорного устаткування є датчики тиску. Такі елементи автоматизації працюють з реагуванням на визначені нижній та верхній порогові значення тиску в системі та в ресивері. При зниженні тиску в системі до крайнього встановленого граничного нижнього значення відбувається вмикання компресора. Його вимикання реалізується з досягненням верхнього встановленого значення.



Рис. 1. Гвинтовий повітряний компресор Atlascopco
30 кВт, 8 бар, 5,0 м^3/хв АТ-40А

Представлений на рис. 1 компресор, оснащений електродвигуном із преміум комплектуючими (фірми-виробника Schneider Electric), що забезпечує стабільну роботу, а також захист від перевантажень і високий ККД. Ступінь захисту складає показник IP55, що дозволяє використовувати обладнання в складних виробничих умовах.

Інтелектуальною системою керування забезпечується:

- автоматична адаптація під навантаження;
- плавний запуск;
- захист по усіх ключових параметрах;
- контроль по температурі, тиску і струму.

Усі перелічені види робі на сьогодні хоча би і частково, але стосуються використання спеціального устаткування. Таким устаткуванням є як роботизована техніка, так і гідро- та пневмоустановки.

Список використаних джерел

1. Юрченко, О. Ю., & Барсукова, Г. В. (2024). Особливості вмикання електродвигунів на паралельну роботу при автоматизації процесів у сільському господарстві. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, (3 (57), 79-85. https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.10

2. Юрченко О.Ю. Спосіб розгону та гальмування електродвигуна частотним перетворювачем. / О.Ю. Юрійович // XXII Міжнародна наукова конференція "Сучасні проблеми землеробської механіки", присвячена пам'яті академіка П.М. Василенка (17-19 жовтня 2021 року). Ніжин-Київ. 2021. 252 р.– С 171-172.

3. Юрченко О.Ю. Аналіз функціональних можливостей роботи перетворювачів частоти. / О.Ю. Юрченко // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції "Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі" (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.) Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 564-566.

УДК 620.9

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СІП ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ

Юрченко О. Ю., Щербак Н.М.
Сумський національний аграрний університет

Практика експлуатації СІП у різних регіонах України підтверджує їх високу ефективність. Використання ізольованих проводів дозволяє суттєво знизити вплив атмосферних явищ на роботу мережі, скоротити кількість аварійних виїздів ремонтних бригад та підвищити безперервність електропостачання.

Для сільських районів застосування СІП є особливо актуальним. Значна довжина повітряних ліній, велика кількість деревної рослинності вздовж трас, сезонні кліматичні навантаження та віддаленість окремих споживачів створюють підвищені вимоги до надійності електропостачання. Саме тому модернізація таких мереж є одним із пріоритетних напрямів діяльності різних підрозділів Обленерго.

На території частини села досліджуваного району електропостачання реконструкція мережі здійснювалася поетапно. Частина повітряних ліній вже реконструйована із застосуванням самонесучих ізольованих проводів, тоді як окремі ділянки продовжують працювати з використанням традиційних неізольованих проводів. Така ситуація створює можливість виконати об'єктивне порівняння двох варіантів електричних мереж за однакових природних та експлуатаційних умов.

Особливу увагу під час дослідження приділено оцінці таких показників, як:

- надійність електропостачання;
- аварійність мереж;
- технічні втрати електроенергії;
- експлуатаційні витрати;
- зручність технічного обслуговування;
- рівень електробезпеки;
- можливість подальшого розвитку мережі.

Виконане дослідження має не лише теоретичне, а й практичне значення. Його результати можуть бути використані фахівцями Обленерго під час планування реконструкції аналогічних повітряних ліній у районі електропостачання, визначення пріоритетних напрямів модернізації мереж та оцінювання ефективності реалізації інвестиційних програм.

Проведений аналіз діючої системи електропостачання свідчить, що більшість мереж була побудована із застосуванням неізольованих алюмінієвих проводів, які мають достатню механічну міцність, однак поступаються сучасним самонесучим ізольованим проводам за показниками надійності, електробезпеки та експлуатаційної ефективності. У процесі експлуатації такі мережі потребують значних витрат на технічне обслуговування, розчищення трас та ліквідацію наслідків аварій.

Встановлено, що поетапна реконструкція повітряних ліній із використанням самонесучих ізольованих проводів є технічно обґрунтованим і перспективним напрямом розвитку розподільних мереж. Використання СІП дозволяє зменшити кількість коротких замикань, підвищити надійність електропостачання, скоротити експлуатаційні витрати, покращити показники електробезпеки та знизити технологічні втрати електричної енергії.

Таким чином, дослідження ефективності функціонування системи електропостачання після впровадження самонесучих ізольованих проводів є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення системи електропостачання, підвищення її надійності та забезпечення стабільного електропостачання споживачів.

Список використаних джерел

1. Лалак Д.М., Юрченко О.Ю. Функціональні особливості системи на базі WI-FI Автомата КМА-111-40 // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта) Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 6-7 листопада 2024 р. с. 55-56

2. Лалак Д.М., Юрченко О.Ю. Сучасні програми для моніторингу енергоспоживання // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта) Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 6-7 листопада 2024 р. с. 59

3. Сасін С.М., Барсукова Г.В. Класифікація опор ліній електропередачі в системі електропостачання // матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». 01-25 листопада 2022 р., Запоріжжя

СЕКЦІЯ «МЕХАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ»

УДК 636.085.55:631.363

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ

Дерев'янко Д.А. , Боженко О.С.
Поліський національний університет,
Хоменко С.М., Веремій Т.Б., Федорчук А.О.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Типова технологічна лінія приготування комбікормів включає приймання і накопичення сировини, очищення зернових компонентів, дозування, подрібнення, змішування, транспортування та, за необхідності, гранулювання готового корму. Загальна енергоємність виробництва визначається не лише встановленою потужністю окремих машин, а й ступенем їх завантаження, узгодженістю продуктивності, тривалістю холостого ходу та раціональністю технологічної схеми [1, 2].

Для оцінювання енергетичної ефективності обладнання доцільно використовувати показник питомої енергоємності процесу:

$$E_p = W / M, \text{ кВт·год/т}, \quad (1)$$

де W – кількість електроенергії, спожитої обладнанням, кВт·год; M – маса переробленого продукту, т.

За сталого режиму роботи питому енергоємність можна визначити через потужність обладнання та його продуктивність:

$$E_p = P / Q, \quad (2)$$

де P – споживана потужність, кВт; Q – продуктивність обладнання, т/год.

Отже, зменшення енергоємності може бути досягнуте як зниженням споживаної потужності, так і підвищенням фактичної продуктивності машин за умови забезпечення необхідної якості технологічного процесу.

Однією з найбільш енергоємних операцій у технології приготування комбікормів є подрібнення зернової сировини. Для цього переважно використовують молоткові дробарки, перевагами яких є простота конструкції та універсальність. Водночас процес ударного подрібнення супроводжується значними енергетичними витратами. За даними досліджень, енергоємність подрібнення зерна для комбікормів може становити 5,4–8,0 кВт·год/т [3].

На енергоємність подрібнення впливають фізико-механічні властивості зерна, його вологість, необхідний ступінь подрібнення, частота обертання ротора, стан молотків, діаметр отворів решета, площа перфорованої поверхні та рівномірність подачі матеріалу. Надмірне подрібнення сировини збільшує

питомі енергетичні витрати без пропорційного покращення кормової цінності продукту.

Експериментальні дослідження підтверджують, що збільшення діаметра отворів решета за допустимого фракційного складу готового продукту дає змогу підвищити продуктивність та знизити питомі витрати електроенергії. У дослідженні параметрів молоткової дробарки для подрібнення кукурудзи встановлено, що перехід від решета з отворами 3 мм до решета з отворами 5 мм збільшував продуктивність і знижував енергетичні витрати [5]. Тому ступінь подрібнення необхідно визначати відповідно до зоотехнічних вимог до конкретного виду тварин.

Важливим резервом енергозбереження є рівномірне завантаження дробарки. Робота електродвигуна при недовантаженні призводить до зростання питомих витрат електроенергії, тоді як перевантаження знижує стабільність процесу та прискорює зношування робочих органів. Перспективним є автоматичне регулювання подачі зерна залежно від фактичного навантаження електродвигуна.

Суттєве значення має і технічний стан робочих органів. Зношування молотків та решіт, порушення робочих зазорів і забивання перфорованої поверхні знижують пропускну здатність дробарки. Своєчасне технічне обслуговування, перевертання або заміна молотків та очищення решіт дозволяють зменшити питомі витрати енергії без зміни конструкції машини.

Другим важливим напрямом є узгодження продуктивності машин і транспортного обладнання. Якщо продуктивність дробарки, змішувача, дозаторів, норій та транспортерів суттєво відрізняється, виникають простої, повторні пуски та холостий хід обладнання. Тому під час модернізації лінії необхідно формувати єдиний матеріальний потік із мінімальною кількістю перевантажень.

Доцільним є максимальне використання гравітаційного переміщення сировини між технологічними машинами. Вертикальне компонування обладнання дає можливість частково відмовитися від додаткових шнекових і пневматичних транспортерів. Зниження енергоємності транспортування може бути досягнуте також застосуванням частотно-регульованих електроприводів, які забезпечують плавний пуск і регулювання продуктивності залежно від фактичного завантаження.

Резерви енергозбереження існують також у процесах дозування та змішування. Тривалість змішування повинна забезпечувати необхідну однорідність кормової суміші, однак подальша робота змішувача після її досягнення є непродуктивною витратою електроенергії. Оптимізація тривалості циклу змішування, а також скорочення часу завантаження і вивантаження дозволяють підвищити продуктивність лінії без збільшення встановленої потужності. Дослідження процесу дозування також свідчать, що його енергоємність залежить від конструктивних параметрів робочого органа та режиму обертання [6].

Перспективним напрямом удосконалення комбікормового виробництва є впровадження автоматизованого енергетичного моніторингу. Реєстрація потужності електродвигунів, продуктивності машин, тривалості роботи та кількості виготовленого комбікорму дає змогу визначити фактичну питому енергоємність кожної операції та виявити ділянки з найбільшими непродуктивними витратами.

Ефективність такого підходу підтверджують сучасні дослідження. Застосування математичної моделі, що враховує продуктивність дробарки, потужність, вологість сировини, температурний режим та зношування молотків, дозволило в умовах досліджуваного комбікормового підприємства знизити енергоспоживання процесу подрібнення на 18 %, або приблизно на 4 кВт·год/т [4].

Таким чином, зниження енергоємності технологічної лінії виробництва комбікормів має здійснюватися комплексно. Основними напрямами є оптимізація ступеня подрібнення зернової сировини, раціональний вибір параметрів і режимів роботи дробарки, рівномірне завантаження обладнання, своєчасне технічне обслуговування, узгодження продуктивності машин, скорочення холостих ходів, оптимізація процесів дозування і змішування, використання гравітаційного транспорту, частотно-регульованих приводів та автоматизованого контролю енергоспоживання.

Реалізація зазначених заходів дозволяє зменшити питомі витрати електричної енергії, підвищити продуктивність технологічної лінії та знизити собівартість готової продукції. Основним критерієм оптимізації повинно бути досягнення мінімальної питомої енергоємності всієї технологічної лінії за умови забезпечення необхідної якості комбікорму.

Список використаних джерел

1. Дяченко Л. С., Бомко В. С., Сивик Т. Л. Основи технології комбікормового виробництва : навч. посіб. Біла Церква : Білоцерківський національний аграрний університет, 2015. 306 с.

2. Яценко Ю. В. Розробка та обґрунтування технології і технічних засобів приготування комбікормів в умовах господарства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Харків, 2019. 20 с.

3. Постнікова М. В. Енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-25.

4. Castillo Alvarez Y., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P., Rodríguez Pérez B., Patiño Vidal C. D., Pfuyo Muñoz R. Mathematical Model to Improve Energy Efficiency in Hammer Mills and Its Use in the Feed Industry: Analysis and Validation in a Case Study in Cuba. Processes. 2025. Vol. 13, No. 5. Article 1523. DOI: 10.3390/pr13051523.

5. Al-Eid M., Qabatty A., Kubaisi R. et al. Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn

grinding. Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Article 639. DOI: 10.1007/s42452-025-07263-z.

6. Банга В., Мазурак М. Результати експериментальних досліджень енергоємності процесу дозування індивідуальним дозатором комбікормів із дисковим робочим органом. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агроінженерні дослідження». 2020. № 24. С. 27–34. DOI: 10.31734/agroengineering2020.24.027.

УДК 631.362.2

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МОЛОТКІВ ЗЕРНОДРОБАРОК

Боровик В. Ю., Канівець О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Вступ. Працездатність молоткової зернодробарки значною мірою визначається технічним станом і експлуатаційними властивостями робочих молотків. У процесі подрібнення зернової сировини молотки зазнають інтенсивного абразивного зношування, а також періодичного ударного навантаження. У міру спрацювання робочих граней змінюється геометрія робочої поверхні, що зумовлює зниження продуктивності обладнання, підвищення питомих енергетичних витрат та погіршення дисперсності отриманого продукту.

Метою дослідження є порівняльний аналіз відомих способів зміцнення молотків із використанням кількісних показників їх експлуатаційної ефективності.

Основна частина. Під час розроблення конструкції молотків необхідно враховувати комплекс вимог, що спрямовані на підвищення ефективності їх роботи та раціональне використання матеріалу. Однією з основних умов є забезпечення максимально можливого використання маси молотка в процесі експлуатації. У той же час геометричні параметри робочих граней повинні забезпечувати мінімальну зміну їх профілю внаслідок зношування або передбачати можливість періодичного відновлення початкової форми. Товщина робочого елемента визначається необхідністю забезпечення ефективного руйнування зернівки, а характер взаємодії молотка із сировиною має бути наближеним до прямого удару.

Зазначені вимоги зумовили розробку значної кількості конструктивних варіантів молотків, які відрізняються формою та геометрією робочої частини. Серед таких рішень відомі конструкції зі ступінчастим профілем, із похилою передньою поверхнею відносно напряму руху, а також із різними співвідношеннями розмірів ударної частини. Застосування відповідної геометрії

дає змогу змінювати характер взаємодії робочої поверхні молотка із зерновим матеріалом і, відповідно, впливати на показники процесу подрібнення.

Вибір матеріалу для виготовлення молотків є складним завданням, оскільки до нього висуваються взаємопов'язані, але частково суперечливі вимоги. Матеріал повинен характеризуватися високою твердістю для протидії абразивному зношуванню та достатньою ударною в'язкістю для сприйняття динамічних навантажень без руйнування. Підвищення однієї з описаних характеристик часто супроводжується погіршенням іншої, що ускладнює пошук оптимального матеріалу для умов експлуатації молотків.

Експериментальні дослідження молотків, виготовлених із сталей 65Г, 30ХГСА, У8А, 110Г13Л, 12Х13А, HARDOX 500, а також із цементованих сталей і тришарового прокату, не продемонстрували суттєвого потенціалу для значного підвищення їх зносостійкості за рахунок використання однорідних матеріалів [1]. Отримані результати показали про обмежені можливості такого підходу та вказують на необхідність пошуку інших способів підвищення довговічності робочих елементів.

Результативність термічних і хіміко-термічних способів зміцнення молотків характеризується значною варіативністю залежно від використаної технології та режимів обробки. Одним із варіантів є гартування сталі з електролітичним нагріванням. За сили струму до 100 А, напруги 220…250 В, температури електроліту 40…70 °С і тривалості нагрівання 5…6,5 с для сталі 45 отримують твердість робочого шару на рівні 55…59 HRC [2].

Перспективним способом поверхневого зміцнення є дифузійне хромування сталі 30ХГСА. Процес здійснюють у вакуумному середовищі за температури 1100 °С протягом трьох годин із подальшим відпалом при 800…900 °С [2]. Застосування такої технології забезпечує необхідний ефект зміцнення поверхневого шару. Але складність технологічного процесу, високі температурні режими та відповідні вимоги до обладнання істотно обмежують можливість її широкого використання у виробничих умовах.

Застосування цементації із формуванням зміцненого шару завтовшки 0,7…1,8 мм та нітроцементації на глибину 0,7…1,1 мм забезпечує підвищення довговічності молотків у 1,26…1,78 раза. Твердість поверхневого шару після оброблення досягає HV 900, тоді як твердість основного металу становить HV 225…250. Додатковим позитивним ефектом є зниження питомої енергоємності процесу подрібнення з 6,5 до 4,9 кВт·год/т [2].

Серед розглянутих термічних і хіміко-термічних способів найбільше підвищення зносостійкості забезпечує рідинне безелектролізне борування з подальшою термічною обробкою із застосуванням оптичного квантового генератора. За такої технології товщина сформованого захисного шару досягає 1,5 мм, а показник зносостійкості підвищується у 3…4,5 раза порівняно з необробленим матеріалом [3]. Отримані результати показують про значний потенціал поверхневого модифікування для підвищення експлуатаційної довговічності молотків.

Результати досліджень щодо ефективності лазерного гартування не є однозначними та залежать від призначення оброблюваної деталі. Для деталей

машин загального призначення застосування лазерного гартування забезпечує підвищення довговічності у 1,5…3 раза, при цьому твердість поверхневого шару досягає 62…68 HRC [2]. Для молотків результати мають інший характер. Порівняно із серійними молотками зі сталі 65Г перевага зміцнених виробів проявляється переважно на початковому етапі експлуатації. У подальшому інтенсивність зношування зростає, а після напрацювання близько 300 т молоток втрачає працездатність [2]. Однією з імовірних причин такого результату є недостатня глибина зміцненої зони, через що поверхневий шар швидко втрачає свої експлуатаційні властивості.

У сільськогосподарському машинобудуванні одним із найбільш поширених способів підвищення зносостійкості робочих органів є наплавлення. Для зміцнення молотків застосовують, зокрема, наплавлення по шару легувального порошку дротом Св08Г2С діаметром 1,6 мм. За сили струму 220…240 А, товщини шару порошку 4…5 мм і швидкості наплавлення 20 м/год довговічність молотків підвищується у 2…2,5 раза [1]. Такий результат вказує на ефективність формування на робочій поверхні додаткового зносостійкого шару із заданими властивостями.

Застосування плазмового напилення самофлюсівного сплаву ПГ-12Н-03 із додаванням 5 % WC з подальшим оплавленням при температурі 1050…1100 °С забезпечує підвищення зносостійкості сталей 65Г і 30 у 1,5…2 раза [4]. Поєднання напилення з наступним оплавленням сприяє формуванню щільнішого поверхневого шару та покращенню його зчеплення з основним матеріалом.

Перспективним технологічним рішенням є високошвидкісне лазерне напікання порошку ПГ-СР4 в аргоновому середовищі. У результаті оброблення формуються градієнтні покриття завтовшки 0,5…1 мм, при цьому їхня адгезійна міцність наближається до міцності основного металу [4, 5]. Така характеристика є суттєвою перевагою для деталей, які працюють в умовах інтенсивного ударно-абразивного навантаження.

Індукційне наплавлення порошку ПГ-УС25 із попереднім формуванням отворів за контуром прогнозованої зони зношування забезпечує менш виражений ефект. Підвищення експлуатаційної стійкості становить близько 18…20 % [3]. Порівняння наведених результатів демонструє значну залежність ефективності покриттів від способу їх формування, товщини зміцненого шару та якості зчеплення з основою.

Висновки. Гомогенні сталі не розв’язують проблему ресурсу молотків. Найбільший приріст ресурсу дають рідинне борування – 3…4,5 раза, модернізована форма з робочою гранню зі сталі У8 – 3,7 раза і молоток-модуль з твердосплавними пластинами – 2…3 раза. Наплавлення, цементація та покриття підвищують ресурс у 1,5…2,5 раза. Кожен метод має обмеження: вартість обладнання, малу товщину шару або ненадійне кріплення вставок. Тому подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення нової конструкції молотка, яка змінить характер зношування і забезпечить ефект самозагострювання.

Список використаних джерел

1. Viňáš J., Brezinová J., Brezina J., Hermel P. Innovation of Biomass Crusher by Application of Hardfacing Layers. Metals. 2021. Vol. 11, No. 8. Article 1283. DOI: https://doi.org/10.3390/met11081283.

2. Yazıcı A. Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. Soil and Tillage Research. 2024. Vol. 242. Article 106161. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106161.

3. Sharifi Malvajerdi A. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9, No. 6. Article e16669. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16669.

4. Technological Solutions for Increasing the Resource of Crushers / M. Mushtruk et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII : Proceedings of the 8th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2025 / ed. by R. D. Campilho et al. Cham : Springer, 2025. (Lecture Notes in Mechanical Engineering). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-95218-0_5.

5. Self-Grinding Silage Knife Strengthened with Ni–WC Alloy Prepared by Laser Cladding / L. Xu et al. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 21. Article 10236. DOI: https://doi.org/10.3390/app112110236.

УДК 631.331:621.928.37

ПАРАМЕТРИ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ НАСІННЯ

Вовк В. О.

Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Одним із важливих етапів підготовки насіннєвого матеріалу є його очищення та калібрування. Якісні показники цієї операції визначають однорідність насіння за масою, розмірами та іншими фізико-механічними властивостями. Для розділення насіннєвих сумішей перспективним є використання пневмосепараторів, у яких поділ частинок здійснюється під дією повітряного потоку.

Застосування осьового вентилятора дає можливість створювати регульований повітряний потік у робочому каналі. Водночас ефективність калібрування залежить від ряду факторів: конструктивні особливості та режими роботи. Недостатня швидкість повітря не забезпечує необхідного переміщення, окремих компонентів, які є легкими, а надмірна може призводити до винесення повноцінного насіння. На процес також впливають товщина шару матеріалу, його подача та рівномірність повітряного потоку по перерізу каналу. Тому на початковому етапі дослідження необхідно визначити основні фактори процесу, діапазон їх зміни та сам характер очікуваного впливу.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз досліджень пневматичного розділення насіння показує, що одним із визначальних параметрів є швидкість повітряного потоку. Важливе значення має також рівномірність розподілу швидкості по поперечному перерізу робочого каналу. Локальні зони з різною швидкістю повітря змінюють траєкторії частинок і можуть знижувати якість розділення [1, 2].

Окремим фактором, який впливає на результат є товщина самого шару насіння. При збільшенні шару зростає взаємне екранування частинок та опір проходженню повітря, тоді як надто тонкий шар обмежує продуктивність установки. Енергетична ефективність процесу залежить від узгодження швидкості потоку, подачі матеріалу та конструктивних параметрів пневматичного каналу [4]. Для стабілізації повітряного поля у системах з осьовим вентилятором доцільно дослідити використання дифузора-вирівнювача і можливо конструктивних особливостей спрямовуючих лопатей.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення основних факторів, що впливають на процес калібрування насіння у пневмосепараторі з осьовим вентилятором, обґрунтування початкових діапазонів їх зміни та оцінювання очікуваного характеру впливу на якість розділення.

Результати дослідження. На основі аналізу робочого процесу пневмосепаратора для подальших експериментальних досліджень виділено три основні фактори: швидкість повітряного потоку ϑ, товщину шару насіння h та подачу насіння Q. Рівномірність повітряного потоку доцільно використовувати як параметр контролю, його задача характеризує якість формування повітряного поля в робочому каналі.

Швидкість повітряного потоку ϑ безпосередньо визначає величину аеродинамічної дії на частинки. Зі збільшенням швидкості інтенсивність переміщення легких частинок повинна зростати. Однак після досягнення певного значення можливе винесення частини повноцінного насіння та збільшення енергоспоживання. Відповідно до прийнятої в дослідженні методики для насіння пшениці початковий діапазон зміни швидкості доцільно прийняти в діапазоні від 4,5 до 6,5 м/с.

Товщина шару насіння h визначає умови взаємодії повітряного потоку із зерновим матеріалом. Збільшення шару підвищує кількість матеріалу в робочій зоні, проте може погіршувати проникнення повітря до нижніх частинок та посилювати їх взаємне екранування. Для подальшого дослідження доцільно розглядати діапазон 15–35 мм.

Подача насіння Q характеризує кількість матеріалу, що надходить до робочої зони за одиницю часу. Її збільшення повинно підвищувати продуктивність установки, проте більш вища подача може збільшувати концентрацію частинок, погіршувати умови їх обтікання повітрям та знижувати точність розділення. Числові рівні Q ми не досліджували, тому їх необхідно встановити окремими дослідами з урахуванням розмірів робочого каналу і можливостей дозувального пристрою.

Таблиця – Основні фактори дослідження процесу калібрування насіння у пневмосепараторі

Фактор	Позначення	Початковий діапазон	Очікуваний вплив
Швидкість повітряного потоку	ϑ	4,5–6,5 м/с	Зростання аеродинамічної дії; за надмірних значень потоку можливе винесення повноцінного насіння
Товщина шару насіння	h	15–35 мм	Зі збільшенням товщини шару насіння зростає продуктивність, але посилюються екранування та опір потоку
Подача насіння	Q	Необхідно встановити експериментально	Збільшення подачі підвищує продуктивність; надмірна подача може погіршувати якість розділення

Як вихідні показники експерименту доцільно прийняти ефективність калібрування η, продуктивність пневмосепаратора та питомі витрати електроенергії. Додатково необхідно контролювати нерівномірність швидкості повітря по поперечному перерізу каналу. Такий підхід дозволить оцінити не окрему дію кожного фактора, а їх спільний вплив на технологічні та енергетичні показники процесу.

Висновки. На початковому етапі дослідження пневмосепаратора з осьовим вентилятором визначено основні фактори процесу: швидкість повітряного потоку, товщину шару та подачу насіння. Для насіння пшениці як початкові межі експерименту запропоновано швидкість повітря 4,5–6,5 м/с і товщину шару 15–35 мм. Межі подачі насіння потребують попереднього експериментального визначення. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення спільного впливу зазначених факторів на ефективність калібрування, продуктивність і питомі енерговитрати, а також на оцінювання рівномірності повітряного потоку в робочому каналі.

Список використаних джерел

1. Choszcz D. J., Reszczyński P. S., Kolankowska E., Konopka S., Lipiński A. The effect of selected factors on separation efficiency in a pneumatic conical separator. Sustainability. 2020. Vol. 12. 3051. DOI: 10.3390/su12073051.

2. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A., Kalinichenko R., Hryshchenko V. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. Journal of Central European Agriculture. 2023. Vol. 24, No. 1. P. 225–235. DOI: 10.5513/JCEA01/24.2.3729.

УДК 631.363.2:633.34

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ

Волинець Є. О.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Вибір режимів подрібнення сої після інфрачервоної мікронізації потребує врахування властивостей термічно обробленого зерна. Застосування режимів, установлених для необробленої сировини, без перевірки може спричинити надмірне подрібнення та невиправдані енерговитрати. Необхідно узгодити комп’ютерне моделювання процесу, розроблення лабораторного вібраційного млина та підготовку рекомендацій з експлуатації обладнання у складі технологій вирощування й переробки зернобобових культур.

Аналіз останніх досліджень. V. Zubko та співавтори [1] установили залежність активності уреази й питомих енерговитрат мікронізації сої від режимів термічної обробки. R. P. Ramachandran та співавтори [2] показали, що початкова вологість і тривалість інфрачервоного нагрівання змінюють пористість та об’єм зерна. Отже, для моделювання його руйнування доцільно окремо визначати механічні властивості після мікронізації. Енергетичний підхід L. M. Tavares [3] ураховує розкид міцності частинок і накопичення пошкоджень за повторних навантажень. Його застосування до сої потребує калібрування, оскільки параметри руйнування інших матеріалів безпосередньо переносити на зерно не можна.

Мета досліджень. Обґрунтувати структуру імітаційної моделі та лабораторного зразка вібраційного млина, визначити критерії вибору режимів подрібнення мікронізованої сої й послідовність формування практичних рекомендацій для технологічного комплексу НДР.

Результати досліджень. За результатами теоретичного опрацювання запропоновано розрахунково-методичний підхід, який поєднує три завдання ІІІ етапу НДР.

Для відтворення руху зерна та його взаємодії з робочими поверхнями запропоновано метод дискретних елементів (DEM), доповнений моделлю руйнування частинок. Вхідними даними є геометрія камери, амплітуда і частота коливань, маса завантаження, розміри, густина, вологість та міцність зерна після мікронізації. Контактні параметри встановлюють за випробуваннями тертя, відновлення швидкості після удару й стискання окремих зернин.

Для початкового розрахунку одновісного гармонічного руху камери використовують залежності:

$$x(t) = A\sin(2\pi ft), \quad a_{max} = (2\pi f)^2 A, \quad \Gamma = \frac{a_{\max}}{g}. \tag{1}$$

де A – амплітуда, м;
f – частота, Гц;
t – час, с;
amax – максимальне прискорення, м/с²;
g – прискорення вільного падіння;
Г – безрозмірне віброприскорення.

Для режиму A = 0,002 м і f = 25 Гц розраховано a_{max} = 49,35 м/с2 та Г = 5,03. За сталої амплітуди подвоєння частоти збільшує прискорення вчетверо, що вказує на необхідність спільного аналізу частоти й амплітуди.

У DEM-моделі руйнування задають через порогову енергію та розподіл розмірів утворених фрагментів зі збереженням маси. Порогові параметри визначають для мікронізованої сої. Стійкість розрахунку перевіряють зменшенням кроку часу. Вихідними показниками є гранулометричний склад, частка цільової фракції, частота та енергія зіткнень. Питомі електровитрати встановлюють за вимірюваннями на млині; енергію контактів DEM без урахування втрат привода не прирівнюють до споживання електроенергії.

Запропоновано компонування млина з робочою камерою на пружних опорах, регульованим віброзбудником, змінними робочими елементами та системою відбору проб. Частотний перетворювач і регулювання дебалансу забезпечують зміну збудження, а фактичну амплітуду контролюють датчиком вібрації. Вимірювальний комплекс має реєструвати прискорення, активну потужність, температуру продукту, масу й тривалість обробки. Продуктивність і питомі електровитрати визначають за виразами:

$$Q = \frac{m}{\tau}, \quad e = \frac{P}{Q}. \tag{2}$$

де m – маса обробленої проби, кг;
τ – тривалість подрібнення, год;
P – середня споживана потужність, кВт;
Q – продуктивність, кг/год;
e – питомі електровитрати, кВт·год/кг.

Окремо вимірюють потужність холостого ходу для оцінювання втрат. Серії дослідів передбачають зміну частоти, амплітуди та завантаження за контрольованих вологості й температури зерна. Модель перевіряють за ситовим складом проб, не використаних для калібрування, з повторними вимірюваннями та оцінюванням похибки.

Інженерний розрахунок охоплює вибір місткості камери за насипною густиною і завантаженням, визначення рухомої маси, жорсткості опор, параметрів віброзбудника та потужності привода. Перевірка власних частот потрібна для обмеження небажаного резонансу рами й опор. Режим обирають за

найменшими питомими електровитратами за умов забезпечення заданої продуктивності, цільової крупності та допустимого нагрівання продукту.

Технологічний регламент має поєднувати паспорт партії сої з картою її переробки. У паспорті зазначають сорт, попередник, застосовані біопрепарати, врожайність і якість зерна; у карті – параметри мікронізації, вологість перед помелом, налаштування млина та результати контролю продукту. Це забезпечує простежуваність сировини, отриманої за біоорганічними сортовими технологіями, та врахування відмінностей між партіями.

Для рослинницької частини комплексу рекомендовано поєднувати добір адаптованого сорту, інокуляцію насіння, використання сидератів і повернення післяжнивних решток у сівозміні [4]. Для переробної частини передбачено вхідний контроль зерна, узгодження продуктивності мікронізатора та млина, ситовий контроль помелу й коригування режиму за питомими енерговитратами.

Ефективність комплексу доцільно оцінювати за сукупними витратами на вирощування, мікронізацію та подрібнення одиниці придатної продукції. Вплив технологій вирощування на відновлення родючості ґрунту перевіряють окремими польовими дослідженнями за показниками гумусу, поживного режиму й балансу рослинних решток. Енергоефективність млина не є самостійним доказом поліпшення стану ґрунту.

Висновки. Запропонований підхід пов’язує параметри руху камери з властивостями мікронізованої сої, визначає склад лабораторного зразка та порядок перевірки моделі. Основою вибору режимів є питомі електровитрати за обмежень щодо крупності, продуктивності й температури продукту. Сформовані положення можуть бути використані для підготовки методики інженерного розрахунку та технологічного регламенту.

Список використаних джерел

1. Zubko V., Plavynska S., Plavynskyi V., Plavynska O., Saienko A., Roubík H. Inactivation of anti-nutrients in soybeans via micronisation. Research in Agricultural Engineering. 2022. Vol. 68, № 3. P. 157–167. DOI: 10.17221/2/2021-RAE.

2. Ramachandran R. P., Erkinbaev C., Thakur S., Paliwal J. Three dimensional characterization of micronized soybean seeds using X-ray microtomography. Food and Bioproducts Processing. 2021. Vol. 127. P. 388–397. DOI: 10.1016/j.fbp.2021.03.007.

3. Tavares L. M. Review and Further Validation of a Practical Single-Particle Breakage Model. KONA Powder and Particle Journal. 2022. Vol. 39. P. 62–83. DOI: 10.14356/kona.2022012.

4. Didora V., Romantschuk L., Kliuchevych M., Vyshnivskyi P., Matviichuk N. Varietal features of elements of organic soybean cultivation technology. Scientific Horizons. 2022. Vol. 25, № 12. P. 60–68. DOI: 10.48077/scihor.25(12).2022.60-68.

УДК 664.72:632.7

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТРАДИЦІЙНИХ ТА ОЗОНОВИХ МЕТОДІВ ДЕЗІНСЕКЦІЇ ЗЕРНА

Куликівський В.Л., Гришкун Д.П.
Поліський національний університет,
Хоменко С.М.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Забезпечення належної якості зерна в процесі тривалого зберігання значною мірою залежить від ефективності захисту зернової маси від комах-шкідників. Їх розвиток у зерносховищах призводить до кількісних втрат, зниження посівних і технологічних властивостей зерна, локального самозігрівання та створення сприятливих умов для розвитку мікроорганізмів. Тому дезінсекція є важливою складовою технологій післязбиральної обробки та зберігання зерна.

Традиційні технології боротьби зі шкідниками зернових запасів значною мірою базуються на застосуванні хімічних засобів. Одним із найбільш поширених способів є фумігація фосфіном. Його перевагами є здатність проникати в зернову масу, достатньо широкий спектр дії, відносно невисока вартість та можливість застосування у великих зерносховищах. Водночас ефективність фумігації істотно залежить від герметичності сховища, температури, тривалості експозиції та підтримання необхідної концентрації газу. Тривале й інтенсивне використання фосфіну спричинило формування резистентності у низки видів шкідників зернових запасів, що розглядається як одна з основних проблем сучасних систем захисту зерна [4].

Хімічні методи також характеризуються підвищеними вимогами до безпеки праці. Фуміганти є токсичними для людини, тому їх використання потребує спеціальної підготовки персоналу, герметизації об’єкта, контролю концентрації газу та дотримання регламентованих строків експозиції й дегазації. Крім того, необхідність зниження пестицидного навантаження стимулює пошук альтернативних способів дезінсекції зерна.

Одним із перспективних напрямів є застосування озону. Озон (O_3) є сильним окисником, який після завершення технологічного процесу розкладається переважно до молекулярного кисню. Це дозволяє уникнути накопичення стійких залишків фуміганту в обробленій продукції. Його інсектицидна дія пов’язана з окиснювальним пошкодженням біологічних структур організму комах. Крім того, озон може проявляти фунгіцидну та бактерицидну дію, що розширює потенціал його використання у технологіях зберігання сільськогосподарської продукції [2, 3].

Експериментальними дослідженнями S. A. Kells та співавторів установлено, що оброблення 8,9 т кукурудзи озоном концентрацією 50 ppm

протягом трьох діб забезпечило 92–100 % смертності дорослих особин Tribolium castaneum, Sitophilus zeamais та личинок Plodia interpunctella. При цьому було встановлено, що рух озону крізь зерновий насип має складний характер і значною мірою залежить від швидкості подачі озоноповітряної суміші та взаємодії озону з поверхнею зерна [1].

Порівняно з традиційною хімічною фумігацією, озонова дезінсекція має низку потенційних переваг. Передусім озон може генеруватися безпосередньо на місці обробки з кисню повітря, що зменшує необхідність транспортування та зберігання запасів хімічного фуміганту. Після припинення його генерування озон є нестійким і розкладається, тому технологія характеризується відсутністю тривалого накопичення самого озону в зерновій продукції. Важливою перевагою є також можливість поєднання інсектицидного ефекту зі зниженням мікробіологічного забруднення.

Разом із тим озоновий метод має певні технологічні обмеження. Озон активно реагує з органічними компонентами поверхні зерна, внаслідок чого його концентрація зменшується в міру проходження крізь зерновий шар. Це ускладнює забезпечення рівномірної концентрації газу у великих силосах та потребує обґрунтування режимів подачі озоноповітряної суміші. Ефективність обробки залежить від виду шкідника, стадії його розвитку, концентрації озону, тривалості експозиції, температури, вологості зерна, висоти насипу та швидкості газового потоку [2, 6].

Важливим аспектом є вплив озонування на якісні характеристики зерна. Результати наукових досліджень свідчать, що за правильно підібраних режимів озонова обробка може здійснюватися без істотного погіршення основних технологічних властивостей зернової продукції. Водночас застосування надмірно високих концентрацій або тривалої експозиції потребує окремого контролю, оскільки сильні окиснювальні властивості озону можуть впливати на окремі компоненти зернівки [2, 3].

Порівняльний аналіз показує, що традиційні хімічні методи мають переваги з погляду відпрацьованості технологій, широкого практичного застосування та прогнозованості результату за умови дотримання режимів фумігації. Проте їх використання пов’язане з токсикологічними ризиками та проблемою формування резистентних популяцій шкідників. Озонова технологія зменшує потребу у використанні традиційних хімічних фумігантів та має перспективи інтеграції в сучасні системи екологічно орієнтованого зберігання зерна [3, 5].

Водночас озон не можна розглядати як речовину, що не потребує заходів безпеки. У підвищених концентраціях він є небезпечним для персоналу, тому технологічні установки повинні передбачати герметизацію робочої зони, контроль концентрації газу, автоматизацію процесу та деструкцію залишкового озону перед допуском працівників.

Отже, озонова дезінсекція є перспективною альтернативою або складовою інтегрованої системи захисту зерна від шкідників. Подальше вдосконалення

технології доцільно спрямувати на обґрунтування оптимального співвідношення концентрації озону, тривалості експозиції та інтенсивності подачі озоноповітряної суміші з урахуванням параметрів зернового насипу. Це дозволить забезпечити необхідну ефективність дезінсекції за мінімальних енергетичних витрат та без погіршення якісних показників зерна.

Список використаних джерел

1. Kells S. A., Mason L. J., Maier D. E., Woloshuk C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. Journal of Stored Products Research. 2001. Vol. 37, No. 4. P. 371–382. DOI: 10.1016/S0022-474X(00)00040-0.
2. Jian F., Jayas D. S., White N. D. G. Can ozone be a new control strategy for pests of stored grain? Agricultural Research. 2013. Vol. 2. P. 1–8. DOI: 10.1007/s40003-012-0046-2.
3. Isikber A. A., Athanassiou C. G. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products. Journal of Stored Products Research. 2015. Vol. 64, Part B. P. 139–145. DOI: 10.1016/j.jspr.2014.06.006.
4. Nayak M. K., Daglish G. J., Phillips T. W., Ebert P. R. Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. Annual Review of Entomology. 2020. Vol. 65. P. 333–350. DOI: 10.1146/annurev-ento-011019-025047.
5. Paul A., Radhakrishnan M., Anandakumar S., Shanmugasundaram S., Anandharamakrishnan C. Disinfestation techniques for major cereals: A status report. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. Vol. 19. P. 1125–1155. DOI: 10.1111/1541-4337.12555.
6. Lin J., Yan X., Zhou Y. et al. Modified atmosphere and ozone treatment technologies in stored grain pest control: mechanism, applications and challenges. Agricultural Products Processing and Storage. 2025. Vol. 1. Article 16. DOI: 10.1007/s44462-025-00017-5.

УДК 664.8.047

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ У ВІБРАЦІЙНІЙ МАШИНІ

Дідик А. М.
ВСП «Ладижинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Волоський горіх належить до продукції, якість якої значною мірою визначається умовами післязбиральної обробки. Для забезпечення тривалого зберігання горіхи необхідно висушувати до вологості, що відповідає встановленим вимогам, оскільки підвищений вміст вологи сприяє

розвитку мікробіологічних процесів, погіршенню якості ядра та зниженню його харчової цінності. Водночас процес сушіння є одним із найбільш енергоємних процесів післязбиральної переробки волоських горіхів.

Застосування традиційних конвективних способів сушіння супроводжується необхідністю переміщення значних об'ємів сушильного агента крізь шар горіхів, що зумовлює значні аеродинамічні опори та енергетичні витрати. Підвищення температури сушильного агента як основний спосіб інтенсифікації процесу також має обмеження, пов'язані з термолабільністю волоського горіха. Тому актуальним є пошук технологічних рішень, які забезпечують інтенсифікацію тепло- і масообмінних процесів без надмірного підвищення температури сушильного агенту.

Одним із перспективних напрямів є використання вібраційного впливу на шар горіхів. Вібрація сприяє зміні структури шару, зменшенню його аеродинамічного опору, порушенню ламінарного шару біля поверхні продукту та підвищенню інтенсивності процесу масо- і теплообміну. Це створює передумови для скорочення тривалості сушіння та зниження питомих енергетичних витрат [1–3].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз існуючих способів і технічних засобів сушіння волоських горіхів свідчить про переважне використання конвективного підведення теплоти. Ефективність такого процесу визначається температурою та швидкістю руху сушильного агенту, початковою вологістю продукту, властивостями горіхової маси та конструктивними параметрами сушильного обладнання [1]. При цьому збільшення швидкості сушильного агенту не завжди є доцільним через відповідне зростання енергетичних витрат на його переміщення.

Теоретичні дослідження процесу сушіння волоських горіхів із використанням вібраційних технологій показали доцільність поєднання конвективного підведення теплоти з механічним впливом на шар продукту [2]. Для визначення температурного стану горіха розроблено математичну модель, що враховує нестаціонарний характер теплопровідності та особливості будови плоду за схемою «куля у сфері». У моделі враховано внутрішні джерела теплоти, інтенсивність яких змінюється в процесі сушіння, що дає змогу оцінювати температуру ядра залежно від початкових умов і режимних параметрів процесу [3].

Експериментальні дослідження встановили, що застосування вібраційного впливу забезпечує підвищення коефіцієнта теплообміну на 20–27 % порівняно з нерухомим шаром. Для визначення взаємного впливу основних факторів проведено багатофакторний експеримент, у якому факторами були температура та швидкість сушильного агенту, а також віброприскорення сушильної камери. Критерієм оптимізації обрано кількість затраченої енергії на кілограм випаруваної вологи [4, 5].

Отже, результати попередніх досліджень підтверджують перспективність вібраційного способу сушіння, проте для його практичного використання

необхідне обґрунтування такого поєднання технологічних параметрів, за якого забезпечується достатня інтенсивність процесу при збереженні якості ядра та мінімізації енергетичних витрат.

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування раціональних технологічних параметрів процесу конвективно-вібраційного сушіння волоських горіхів, за яких забезпечуються необхідна інтенсивність видалення вологи, допустимий температурний режим ядра та мінімальні питомі енергетичні витрати.

Результати досліджень. Дослідження проводили на волоських горіхах сорту Chandler. Встановлено, що форма плодів характеризується сферичністю 91,08 %, що дає підстави для використання прийнятої розрахункової геометричної моделі під час математичного опису теплових процесів. Визначення теплофізичних і фізико-механічних характеристик продукту здійснювали з урахуванням зміни його вологості в процесі сушіння.

Для встановлення закономірностей впливу режимних факторів на процес сушіння досліджували температуру сушильного агенту, його швидкість та параметри вібрації. Амплітуду коливань робочого органу приймали сталою на рівні 6,5 мм. Аналіз отриманих експериментальних залежностей і поверхонь відгуку показав, що зміна кожного з досліджуваних факторів істотно впливає на тривалість процесу та питомі енергетичні витрати. Вібраційний вплив забезпечує інтенсивніше омивання поверхні горіхів сушильним агентом і сприяє підвищенню коефіцієнта теплообміну, що є однією з основних передумов інтенсифікації процесу [4, 5].

За результатами багатофакторного експерименту та математичної обробки встановлено раціональне поєднання технологічних параметрів: температура сушильного агента 38 °С, його швидкість 22,5 м/с, прискорення вібрації 65,6 м/с² за амплітуди коливань 6,5 мм. Вибір такого режиму зумовлений необхідністю одночасного забезпечення інтенсивного видалення вологи та обмеження температурного навантаження на ядро горіха. Отримана математична модель адекватно описує досліджуваний процес, а максимальна розбіжність між розрахунковими та експериментальними значеннями не перевищує 11 % [3, 5].

Практична перевірка встановленого режиму показала, що за початкової вологості горіхів 28 % її зниження до 10 % забезпечується протягом 8 год. При цьому питомі енергетичні витрати становлять 3,91 МДж на 1 кг випареної вологи. Порівняно із сучасними конвективними сушарками аналогічного призначення цей показник є нижчим на 15–17 %, що підтверджує енергетичну доцільність використання вібраційного впливу [5].

Отримані результати узгоджуються з теоретичними положеннями математичної моделі процесу та результатами експериментальних досліджень. Встановлений режим може бути використаний як основа для розроблення та вдосконалення конструкцій конвективно-вібраційних сушильних машин для післязбиральної обробки волоських горіхів.

Висновки. Обґрунтовано доцільність використання вібраційного впливу як технологічного способу інтенсифікації конвективного сушіння волоських горіхів. Застосування вібрації забезпечує підвищення коефіцієнта теплообміну на 20–27 % та сприяє ефективнішому використанню теплоти сушильного агенту.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено раціональні технологічні параметри процесу: температура сушильного агента 38 °С, швидкість його руху 22,5 м/с, прискорення вібрації 65,6 м/с² та амплітуда коливань 6,5 мм.

За встановленого режиму забезпечується зниження вологості волоських горіхів з 28 до 10 % протягом 8 год при питомих енергетичних витратах 3,91 МДж/кг випареної вологи.

Результати досліджень підтверджують, що поєднання конвективного та вібраційного впливу дає змогу підвищити інтенсивність сушіння без необхідності істотного збільшення температури сушильного агента, що є важливим для збереження якісних показників ядра.

Список використаних джерел

1. Руткевич В. С., Дідик А. М. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 2023. Т. 1, № 1(317). С. 230–236. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-317-1-230-236.

2. Цуркан О. В., Руткевич В. С., Дідик А. М. Теоретичні дослідження процесу сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 2023. № 4(323). С. 337–342. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-337-342.

3. Цуркан О. В., Спірін А. В., Гудзенко Н. М., Дідик А. М. Математична модель процесу сушіння волоських горіхів в конвективно-вібраційній сушарці. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. № 4(115). С. 5–14. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-4-1.

4. Цуркан О. В., Спірін А. В., Твердохліб І. В., Дідик А. М. Обґрунтування способу сушіння волоських горіхів. Вібрації в техніці та технологіях. 2023. № 2(109). С. 5–11. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-21.

5. Цуркан О. В., Спірін А. В., Руткевич В. С., Дідик А. М. Оцінка ефективності процесу сушіння волоських горіхів в конвективно-вібраційній сушарці. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. № 3(114). С. 5–12. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-1.

УДК 631.362.36

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ВІД ДОМІШОК НА РИФЛЕНИХ ОПОРНИХ ПОВЕРХНЯХ

Змієвська О.Г., Тоненчук Є.П., Козік Н.М.
Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Зерно пшениці – одна з основних сільськогосподарських культур, яку використовують для продовольчих цілей, а також технічних потреб і у якості корму в тваринницькій галузі.

Зернопереробна галузь належить до найбільш соціально значущих у складі агропромислового комплексу, а стабільне забезпечення населення якісними продуктами переробки зерна є однією зі складових продовольчої безпеки держави.

Якість зернової сировини значною мірою обумовлюється процесом очищення від домішок, що потрапляють у зернові домішки на етапах збирання та первинного обробітку. Це пояснюється тим, що вміст у зерновій масі насіння бур'янів, решток колосків, часток соломи та інших домішок призводить до погіршання протікання процесів зберігання і переробки. Як наслідок зменшується якість готового продукту.

Аналіз останніх досліджень. Однією з ключових технологічних операцій переробки пшениці є сепарування – поділ вихідної зернової суміші на фракції за властивостями частинок. Процеси сепарування застосовуються на всіх етапах – від підготовки зерна до зберігання й аж до одержання готової продукції, а їх ефективність визначає збереження якості зерна, продуктивність наступного обладнання та вихід готового продукту. На борошнокомбінатах широко застосовують машини з коливальним рухом ситових робочих органів (СПВ, ПАР, Р1-АСК, СВ-6 та ін.), проте їхнім основним недоліком є невисока технологічна ефективність.

Недостатня ефективність обладнання обумовлюється тим, що легкі домішки розсіюються в шарі зернової суміші, змішуються з більш грубими фракціями й тим самим не дають можливості досягти достатньої степені очищення.

Це зумовлює потребу в удосконаленні способів розділення зерносуміші, що відбувається під час зворотно-поступальних коливань робочих органів сепараційних машин [1, 2, 3].

Об'єктом дослідження є процес вібраційного самосортування зернової суміші на коливній опорній поверхні.

Мета досліджень: Метою роботи є підвищення ефективності очищення насіннєвого й продовольчого зерна від домішок за рахунок розробки нової опорної поверхні.

Методологічною основою дослідження стали праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі вібраційного переміщення сипких матеріалів.

Дослідження проводились із застосуванням математичного моделювання. З метою верифікації отриманих моделей виконано ряд експериментальних досліджень.

Напрямок проведення досліджень формувався з врахуванням того, що ефективність процесу сепарування залежить від характеру взаємодії зернового матеріалу з робочими поверхнями зерноочисних машин. Крім того, враховуючи [3, 4] на ефективність сепарування впливають аеродинамічні, фізико-механічні характеристики зернових сумішей.

На початку дослідження було висунуто наукову концепцію щодо можливості покращення процесу сепарування зерна за рахунок прискорення проходження вороху крізь отвори сепарувальної поверхні. Для досягнення цього потрібно попередньо видалити легкі домішки з маси вороху.

Одним із шляхів обрано зміну конфігурації опорної сепарувальної поверхні для підвищення її шорсткості.

Для перевірки висунутої концепції виконано експериментальні дослідження. З цією метою виготовлено опорну поверхню з зигзагоподібними рифлями.

Опорна поверхня в процесі роботи виконує коливні рухи з метою забезпечення переміщення частинок нижнього шару. Попередні лабораторні випробування виявили недолік запропонованої поверхні – утворення зон накопичення зернових часток – застійних зон.

Для усунення даного недоліку рифлі виконано різної висоти. Крім того вони орієнтовані під кутом до напряму коливань (рис. 1).

Результати досліджень: Як показали експериментальні дослідження така опорна поверхня забезпечує доволі високу швидкість розділення. Причому вона зберігається протягом усього часу перебування суміші на поверхні.

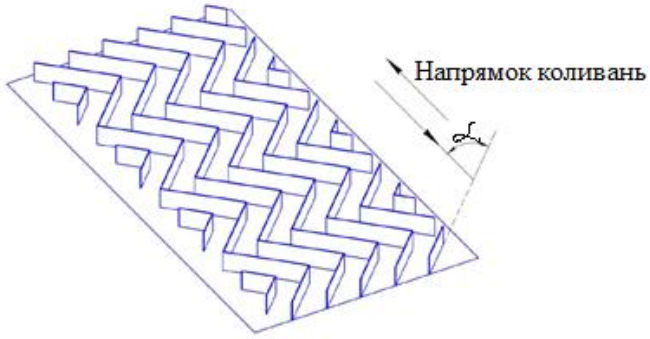


Рис. 1. Опорна поверхня з рифлями, орієнтованими під кутом α до напряму коливань

Для проведення експериментальних досліджень розроблено й виготовлено лабораторне устаткування з можливістю зміни амплітуди коливань поверхні. Метою експерименту було встановлення кінематичних параметрів за яких буде проявлятись явище виходу легких домішок, які внаслідок самосортування накопичуються у верхньому шарі зернової суміші.

Рифлі для експериментальних досліджень виготовлено висотою від 5 до 20 мм. Висота змінювалась поступово вздовж опорної поверхні. Мінімальна висота

рифлів 5 мм встановлена виходячи з умови унеможливлювання потрапляння легких часток у проміжки між рифлями.

У ході досліджень встановлено, що легкі домішки виходять у верхні шари найбільш інтенсивно за умови що поверхня здійснює 280 коливань на протязі однієї хвилини. За умови збільшення числа коливань до 380 за хвилину зафіксовано зменшення маси верхнього шару приблизно у 1,5 разів.

Експериментальним шляхом також встановлено величину кута α, який обумовлює орієнтацію стінок рифлів у просторі. Виявлено, що даний кут слід змінювати залежно від фізико – механічних властивостей матеріалу, що поступає на площину з рифлями. Це пояснюється тим, що зміна маси та розмірів частинок безпосередньо впливають на величину середньої швидкості їхнього переміщення й, безпосередньо, на ефективність процесу сепарування. Раціональними для здійснення сепарування є такий режим руху часток нижнього шару коли вони рухаються між рифлями бокові поверхні яких встановлюються під кутом $\alpha \in \{40^0 - 45^0\}$. Саме за умови встановлення таких кутів у нижньому шарі виникає режим двобічного ковзання, що сприяє реалізації процесу самосортування й просіювання часток матеріалу.

Висновки: Встановлені експериментальним шляхом параметри, а саме кількість коливань сепарувальної поверхні й кут розміщення бокових стінок рифлів дозволять забезпечити високу роздільність компонент суміші, яка надходить на сепарування.

Напрямком подальших досліджень повинно бути встановлення оптимальних значень амплітуди коливань та кута розміщення сепарувальної поверхні відносно горизонтальної площини. Метою оптимізації даних параметрів є повне розділення компонент зернової суміші, що створить умови для подальшого транспортування різних зернових фракцій без їхнього перемішування.

Список використаних джерел

1. Степаненко С. П., Мироненко В. Г., Погорілий С. П., Кузьмич А. Я., Швидя В. О., Попадюк І. С. Аналіз та розвиток моделей вібраційного переміщення зернівки в процесах сепарування зернових матеріалів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2025. Вип. 15, т. 1. С. 136–146. URL: https://elar.tsatu.edu.ua/items/7cbf771a-09af-46f1-9fc3-bad85f09d701 .

2. Степаненко С. П., Котов Б. І. Дослідження закономірностей руху компонентів зернового матеріалу під час пневмогравітаційного фракціонування у вертикальному каналі. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2018. Вип. 7 (106). С. 82–89.

3. Михайлов Є. В., Задосна Н. О., Ковальов О. В., Задосний Д. О. Розрахунок технологічних параметрів процесу сепарування зернової суміші. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 73–81.

4. Кирпа М. Я., Скотар С. О., Лупітько О. І. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насіннєвих сумішей на прикладі кукурудзи. Зернові культури. 2017. Т. 1, № 1. С. 133–139. URL: https://doaj.org/article/18e77472c8634dd9a0e14fc97db0afcd .

УДК 631.365.2:681.5

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНОСУШАРОК ШАХТНОГО ТИПУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ

Іванов О. М.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Забезпечення заданої якості висушеного зерна за мінімально можливого споживання енергетичних ресурсів потребує узгодженої роботи теплогенерувального обладнання, вентиляційної системи та механізмів переміщення зернової маси. Для сушильних установок шахтної конструкції таке узгодження ускладнюється тривалим перебуванням матеріалу в зоні теплової обробки та неоднаковими умовами теплообміну на окремих ділянках технологічного тракту. Унаслідок цього зміна потужності нагрівального обладнання не супроводжується миттєвою зміною стану зерна, а результати керуючих дій проявляються із запізненням.

За відсутності належного врахування динамічних властивостей обладнання автоматичне керування може спричиняти надмірне коригування теплової потужності, періодичні відхилення температури сушильного середовища та нераціональне використання енергії. Тому важливим завданням є встановлення принципів побудови систем керування, здатних забезпечувати необхідні умови зневоднення зерна в умовах інерційності теплофізичних процесів.

Аналіз останніх досліджень. Перспективи модернізації зерносушильного обладнання розглянуто у працях Yu та ін. [1] і Jimoh та ін. [2], у яких систематизовано технологічні особливості сушіння сільськогосподарської продукції та чинники, що визначають результативність теплової обробки. Питання використання розрахункових моделей для відтворення поведінки зернового матеріалу під час видалення вологи досліджували Baidhe і Clementson [3]. Можливості впровадження засобів інтелектуалізації сушильних процесів висвітлено Su та ін. [4].

Окремий напрям наукових досліджень пов'язаний із застосуванням алгоритмів прогнозування стану технологічних об'єктів. Зокрема, Zhang та ін. [5] запропонували підхід до прогнозуючого керування багатостадійним процесом сушіння рису із застосуванням глибокого навчання. Chang та ін. [6] проаналізували технології керування зерносушильним обладнанням у контексті зменшення енергоспоживання та розвитку інтелектуальних систем. Водночас питання вибору принципів автоматичного регулювання з урахуванням часових характеристик теплових процесів у шахтних зерносушарках потребує подальшого теоретичного обґрунтування.

Мета досліджень. Визначення впливу інерційності теплових процесів у зерносушарках шахтного типу на характер зміни параметрів сушильного

середовища та обґрунтування принципів автоматичного керування, спрямованих на обмеження температурних відхилень і раціоналізацію витрат теплової енергії.

Результати досліджень. Теоретичне дослідження виконано із застосуванням положень технічної термодинаміки, математичного опису тепло- і масоперенесення та методів аналізу динамічних систем автоматичного керування.

Функціонування шахтної зерносушарки розглянуто як сукупність взаємозалежних процесів, у яких теплова енергія повітряного потоку використовується для підвищення температури зернового матеріалу та забезпечення фазового переходу вологи. Водночас частина енергетичного потоку втрачається через огороджувальні конструкції й разом із відпрацьованим сушильним агентом. Співвідношення зазначених складових визначає ефективність використання підведеної теплоти.

Зміна вологості зерна в процесі його перебування в сушильній зоні характеризується нерівномірною швидкістю. За математичною моделлю кінетики сушіння інтенсивність видалення вологи знижується в міру наближення поточної вологості матеріалу до рівноважного значення. Відповідно, потреба в тепловому впливі змінюється протягом технологічного циклу. Це вказує на обмежену ефективність підтримання незмінних параметрів нагрівання незалежно від стану зернової маси.

Динаміку температурної реакції сушильної установки досліджено з використанням моделі аперіодичної ланки першого порядку. Її застосування дозволяє оцінити швидкість наближення контрольованого параметра до нового усталеного значення після зміни керуючого сигналу. Важливою характеристикою такої моделі є стала часу, від величини якої залежить тривалість перехідного процесу.

Для зерносушарок із великою масою матеріалу характерним є накопичення теплової енергії у зерні та конструктивних елементах обладнання. Тому після зміни теплової потужності реакція технологічного об'єкта формується поступово. Якщо регулятор не враховує цієї особливості, його керуючі дії можуть випереджати фактичну зміну контрольованої величини, створюючи передумови для перерегулювання.

Розглянуто можливість застосування PID-алгоритму для керування температурним станом сушильного середовища. У такому алгоритмі керуючий вплив визначається не лише поточним відхиленням параметра від заданого значення, але й накопиченою похибкою та швидкістю її зміни. Це дозволяє реалізувати регулювання з урахуванням характеру розвитку перехідного процесу. Однак ефективність такого підходу залежить від узгодження параметрів регулятора з динамічними властивостями зерносушарки.

Встановлено, що оцінювання стану сушильної установки лише за температурою повітря не відображає повною мірою умов, у яких відбувається перенесення вологи. За однакової температури сушильного агента інтенсивність зневоднення може змінюватися залежно від його вологовмісту, витрати та поточного стану зернового матеріалу. Отже, для підвищення результативності

керування необхідно передбачати одночасне врахування кількох технологічних величин.

Розглянутий принцип багатопараметричного керування передбачає отримання інформації від температурних і вологісних датчиків та формування впливів на теплогенератор і вентиляційну систему. При цьому регулювання теплової потужності змінює інтенсивність підведення енергії, тоді як коригування повітрообміну впливає на умови відведення випаруваної вологи.

Аналіз розрахункових графічних залежностей показав, що зі збільшенням температурного перепаду зростає інтенсивність передачі теплоти до зернового шару. Проте підвищення рівня нагрівання не забезпечує пропорційного збільшення швидкості зневоднення в усьому діапазоні температур. За надмірного теплового впливу зростає ризик нераціонального енергоспоживання та термічного пошкодження зерна.

Окремо проаналізовано зв'язок між характером температурних коливань і питомими витратами енергії. Розрахункові залежності демонструють зростання енергетичних витрат зі збільшенням амплітуди відхилень температури сушильного середовища. Таким чином, зменшення коливальності перехідних процесів є одним із напрямів удосконалення енергетичних характеристик зерносушарок.

Отримані результати свідчать, що ефективність автоматичного керування визначається не лише точністю вимірювання технологічних параметрів, але й відповідністю алгоритму регулювання теплофізичним характеристикам об'єкта. Урахування інерційності та взаємного впливу температури, вологості й повітрообміну створює основу для формування більш стійких режимів роботи сушильного обладнання.

Висновки. На підставі проведеного теоретичного аналізу визначено, що інерційність теплообмінних процесів є одним із визначальних чинників формування перехідних режимів у зерносушарках шахтного типу. Невідповідність швидкодії регулятора динамічним характеристикам сушильної установки може спричиняти температурні коливання, перерегулювання та додаткові витрати енергії.

Обґрунтовано необхідність узгодження параметрів PID-регулювання з часовими характеристиками технологічного об'єкта та врахування не лише температури, але й вологості й витрати сушильного агента. Використання такого підходу створює передумови для підвищення стійкості автоматичного керування, раціонального розподілу теплової енергії та забезпечення необхідних умов сушіння зерна.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення параметрів динамічних моделей реальних зерносушарок та розроблення алгоритмів адаптивного керування, які забезпечуватимуть коригування технологічних режимів відповідно до зміни властивостей зернової маси.

Список використаних джерел

1. Yu P., Zhang H., Liu X., Wang Y. Current status of grain drying technology and equipment. *Foods*. 2025. Vol. 14(14). Art. 2426. https://doi.org/10.3390/foods14142426.
2. Jimoh K. A., Hashim N., Shamsudin R., Man H. C., Jahari M., Onwude D. I. Recent advances in the drying process of grains. *Food Engineering Reviews*. 2023. Vol. 15(4). P. 548–576. https://doi.org/10.1007/s12393-023-09333-7.
3. Baidhe E., Clementson C. L. A review of the application of modeling and simulation in grain drying. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 222. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109094.
4. Su Y., Zhang M., Mujumdar A. S. Recent Developments in Smart Drying Technology. *Drying Technology*. 2015. Vol. 33(3). P. 260–276. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.985382.
5. Zhang Y., Fang Z., Li C., Li C. Deep-Learning-Based Model Predictive Control of an Industrial-Scale Multistate Counter-Flow Paddy Drying Process. *Foods*. 2023. Vol. 13(1). Art. 43. https://doi.org/10.3390/foods13010043.
6. Chang K., Li J., Jin Y., Liu C. Development of Grain Dryer Control Technology from the Perspective of Low Carbon and Intelligentization. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(22). Art. 10587. https://doi.org/10.3390/app142210587.

УДК 631.365

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ В МОДУЛЬНИХ СУШАРКАХ

Борак К.В., Герук С.М., Хоменко С.М.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж,
Іщенко Т.С.
Поліський національний університет

Сушіння сільськогосподарської продукції є одним із найбільш енергоємних процесів післязбиральної обробки. Особливо значними є витрати під час сушіння зернових культур із підвищеною початковою вологістю. Вартість теплової та електричної енергії суттєво впливає на собівартість продукції, тому зниження питомих витрат енергоресурсів за одночасного забезпечення необхідної якості висушеного матеріалу є актуальним науково-практичним завданням.

Перспективним напрямом удосконалення обладнання є використання модульних сушарок. Їх конструкція дозволяє змінювати продуктивність за рахунок кількості функціональних модулів та адаптувати режими сушіння до виду, вологості й фізико-механічних властивостей матеріалу.

Основною причиною високої енергоємності конвективного сушіння є необхідність нагрівання значної кількості сушильного агента та витрати теплоти на випаровування вологи. Частина теплової енергії втрачається з відпрацьованим

повітрям, через поверхні сушарки та під час нагрівання її конструктивних елементів. Додаткові витрати електроенергії пов'язані з роботою вентиляторів, транспортних механізмів і систем автоматичного керування.

Одним із показників енергетичної ефективності процесу сушіння є питома витрата енергії на видалення одиниці маси вологи:

$$q = E / m_{(в)}, \quad (1)$$

де E – загальна кількість енергії, витраченої на сушіння, МДж;

$m_{(в)}$ – маса видаленої вологи, кг.

Зменшення величини q за умови досягнення необхідної кінцевої вологості та збереження якості матеріалу може розглядатися як основний критерій енергетичної досконалості сушильної установки.

Підвищення енергоефективності модульних сушарок доцільно здійснювати комплексно. Основними напрямами є оптимізація температурно-швидкісних режимів, повторне використання теплоти відпрацьованого сушильного агента, зменшення теплових втрат, застосування автоматизованого регулювання, теплових насосів та альтернативних джерел енергії [1–5].

Важливим фактором є температура сушильного агента. Її підвищення інтенсифікує тепло- і масообмін та скорочує тривалість процесу. Проте надмірне нагрівання може спричинити нерівномірне видалення вологи, перегрівання матеріалу та погіршення його якісних показників. Особливо важливими температурні обмеження є під час сушіння насіннєвого матеріалу.

Доцільним є використання диференційованого температурного режиму, за якого параметри сушильного агента змінюються залежно від поточної вологості матеріалу. На початковій стадії сушіння можливе використання вищої температури, а зі зменшенням вологості температуру необхідно коригувати з урахуванням допустимого нагрівання продукції. У модульній сушарці такий підхід може реалізовуватися незалежним регулюванням окремих сушильних модулів.

Важливим технологічним параметром є також швидкість руху сушильного агента через шар матеріалу. Недостатня швидкість знижує інтенсивність тепло- і масообміну та збільшує тривалість сушіння. Водночас надмірна подача повітря збільшує споживання електроенергії вентиляторами без пропорційного скорочення часу процесу. Тому швидкість сушильного агента повинна визначатися з урахуванням гідравлічного опору шару, його товщини, вологості й виду матеріалу.

Одним із найбільш ефективних напрямів зниження теплових витрат є рециркуляція відпрацьованого сушильного агента. Повітря, що виходить із сушильної камери, має температуру, вищу за температуру навколишнього середовища, тому його повне видалення супроводжується значними тепловими втратами. Часткове повернення цього повітря в систему після відповідної підготовки дозволяє зменшити витрати енергії на нагрівання свіжого атмосферного повітря [1, 2].

Додатковим резервом енергозбереження є утилізація теплоти із зони охолодження. Нагріте повітря після охолодження висушеного матеріалу може спрямовуватися на попередній підігрів сушильного агента або

використовуватися в початковій зоні сушіння. Така організація теплових потоків підвищує частку корисно використаної енергії.

Перспективним є застосування теплонасосних технологій. Тепловий насос дозволяє використовувати низькопотенційну теплоту відпрацьованого повітря та повертати її в технологічний цикл. При цьому можливе одночасне осушення повітря у випарнику та його нагрівання в конденсаторі, що створює передумови для організації замкненого або частково замкненого циклу сушильного агента [2, 3].

Для модульних сушарок важливим є використання автоматизованої системи керування. Контроль температури і відносної вологості сушильного агента, температури матеріалу, його початкової та кінцевої вологості, а також витрати повітря дає можливість оперативно коригувати режими роботи. Частотне регулювання вентиляторів дозволяє змінювати їх продуктивність відповідно до фактичної потреби процесу та знижувати непродуктивні витрати електроенергії.

Окремим напрямом є використання місцевих відновлюваних енергоресурсів, передусім біомаси. Для аграрних підприємств джерелом біопалива можуть бути рослинні залишки, побічні продукти очищення зерна та деревна біомаса. Дослідження роботи модульної зерносушарки Saphir 2134 засвідчують доцільність використання теплогенератора на біомасі як альтернативи традиційним енергоносіям [4].

Важливим резервом енергозбереження залишається також удосконалення теплової ізоляції сушильних модулів і повітропроводів. Зменшення втрат теплоти через стінки обладнання безпосередньо знижує кількість енергії, необхідної для підтримання заданої температури сушильного агента.

Таким чином, енергоефективність модульної сушарки визначається сукупністю технологічних і конструктивних факторів. До найбільш перспективних заходів належать оптимізація температури та швидкості сушильного агента, незалежне керування окремими модулями, рециркуляція відпрацьованого повітря, рекуперація теплоти, використання теплових насосів, якісна теплоізоляція, частотне регулювання вентиляторів та застосування альтернативних джерел теплової енергії.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення залежностей між початковою вологістю матеріалу, температурою і швидкістю сушильного агента, тривалістю перебування матеріалу в окремих модулях та питомими енергетичними витратами. Це дозволить обґрунтувати раціональні технологічні параметри модульної сушарки та сформувати алгоритм керування, спрямований на мінімізацію енергоспоживання без погіршення якості висушеної продукції.

Список використаних джерел

1. An J., Xie H., Yan J., Wei H., Wu Y., Liao X. A review of applications of energy analysis: Grain, fruit and vegetable drying technology. Energy Reports. 2024. Vol. 12. P. 5482–5506. DOI: 10.1016/j.egyr.2024.11.037.

2. Bezrodny M. K., Prytula N. O., Vovk V. V. Heat pump grain drying plants. Basic methods for increasing the efficiency grain drying processes. Energy

Technologies & Resource Saving. 2025. Vol. 83, No. 2. P. 42–54. DOI: 10.33070/etars.2.2025.04.

3. Paziuk V. Modern approaches to the solution of the problem of increasing the energy efficiency of seed grain drying. Vidnovluvana Energetika. 2021. No. 4(67). P. 90–99. DOI: 10.36296/1819-8058.2021.4(67).90-99.

4. Gorbenko O., Lapenko H., Lapenko T., Kolotii S. Determination on energy efficiency in corn grain drying. Technology Audit and Production Reserves. 2025. Vol. 2, No. 1(82). P. 45–49. DOI: 10.15587/2706-5448.2025.326080.

5. Jimoh K. A., Hashim N., Shamsudin R., Che Man H., Jahari M., Onwude D. I. Recent Advances in the Drying Process of Grains. Food Engineering Reviews. 2023. Vol. 15. P. 548–576. DOI: 10.1007/s12393-023-09333-7.

6. Fu H., Shi J., Yuan J., Zhang X., Sun L. Heat recovery scheme design and thermodynamic analysis of closed-cycle heat pump drying system. Energy Conversion and Management. 2023. Vol. 286. Article 117034. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.117034.

7. Yahya M., Fahmi H., Hasibuan R., Fudholi A. Development of hybrid solar-assisted heat pump dryer for drying paddy. Case Studies in Thermal Engineering. 2023. Vol. 45. Article 102936. DOI: 10.1016/j.csite.2023.102936.

УДК 631.362.3

АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУННОГО РЕШЕТА

Кришко М. В., Васильковський О. М.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Постановка проблеми. Одним з показників технічної досконалості машин є здатність ефективно виконувати технологічний процес при мінімізації масо-габаритних та енергетичних параметрів робочих органів.

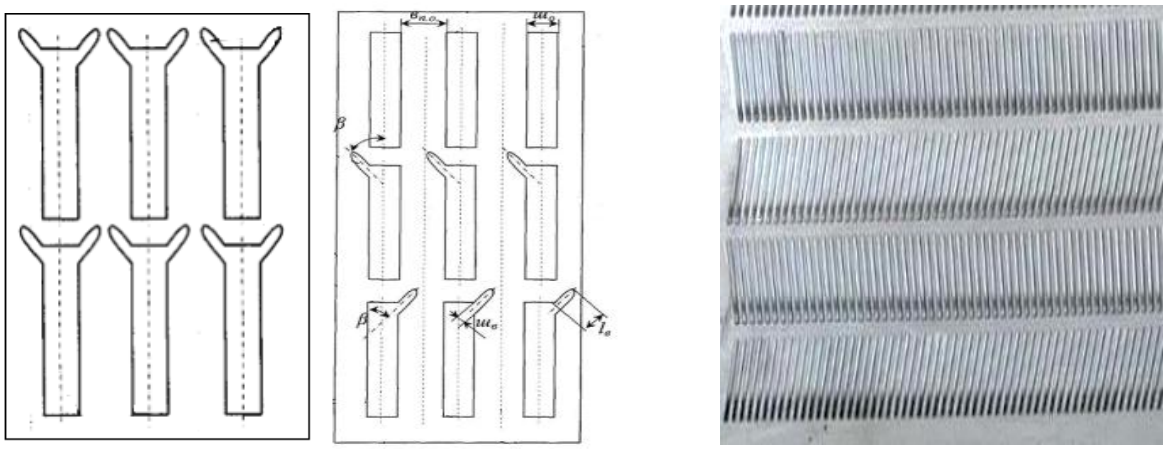
Сучасні зерноочисні машини загального призначення оснащуються коливальними решітними робочими органами на основі перфорованих поверхонь, які мають активний привід і відносно низькі показники технологічної ефективності, внаслідок малої площі живого перерізу.

Існують технічні рішення, зокрема, струнні робочі органи, які за ефективністю переважають плоскорешітні за багатьма показниками. Однак, процес орієнтації часток здовж робочих отворів струнних решіт, як і у перфорованих є достатньо тривалий, тому необхідно забезпечити достатню довжину сепаруючої поверхні, яка у найбільш поширених зерноочисних машин, наприклад, ОВС-25 складає близько 1,5 м, збільшуючи масу машини і, відповідно, енергоємність процесу.

Таким чином, забезпечення інтенсифікації орієнтації часток здовж отворів є важливою і актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Вирішенню проблеми інтенсифікації орієнтації часток присвячено роботи багатьох вчених, зокрема, Бажана І.М., Котова Б. І., Степаненка С.П., Харченка С.О. та ін. [1-6].

Авторами згаданих праць створювались умови для прискорення внутрішньошарових процесів за рахунок різних технічних рішень – форми отворів, їх розташування на поверхні та використання додаткових пристроїв (рис.1).



а) б)

Рис. 1. Решета з отворами, інтенсифікуючими процес сепарації:
а- з інтенсифікуючими прорізами; б- із зигзагоподібними отворами

Як зазначено в результатах вивчених праць, авторам вдалося отримати позитивний ефект від застосування запропонованих удосконалень – підвищення повноти розділення зернових матеріалів на 6-12%, залежно від режимів роботи. Однак, разом з цим, питання поєднання прискореної орієнтації часток при забезпеченні максимальної площі живого перерізу решета є не вирішеним. А саме це поєднання дозволить отримати максимальний ефект.

Метою досліджень є інтенсифікація процесу орієнтації часток здовж отворів струнного решета.

Результати досліджень. На основі аналізу умов забезпечення активного розвертання довгих зернин, розташованих упоперек отворів решета, можна зробити висновок, що при всіх рівних умовах, найшвидше розвертання однорідної частинки відбудеться у випадку, коли вона спитається на дві струни, які мають різні значення коефіцієнтів тертя.

Розрахункову схему наведено на рис. 2.

Кут, який задовольняє умові просіювання частки:

$$\beta_{\text{кр}} = arcsin\frac{B}{l}$$

Складемо рівняння руху здовж струн, прийнявши для спрощення l_1=l_2:

$$m\dot{V} = mg \cdot sin\dot{\alpha} - (f_1 + f_2) \cdot N.$$

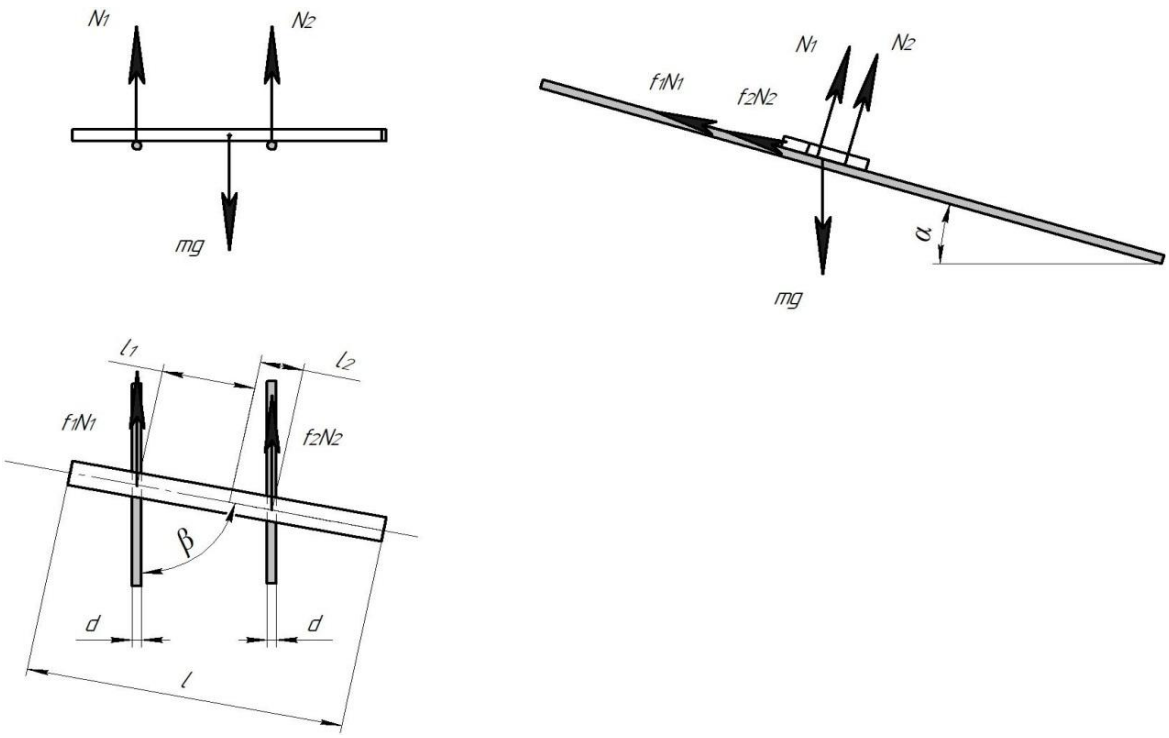


Рис. 2. Розрахункова схема переміщення частинки по струнному решету

Рівняння розвертання частинки має вигляд:

$$J_c \cdot \ddot{\beta} = N \cdot \frac{B}{2}(f_2 - f_1) - \frac{N \cdot B^2 \cdot ctg^2\beta \cdot (f_1 + f_2)}{4 \cdot V} \cdot \dot{\beta},$$

де J_c- момент інерції відносно центру мас.

Мінімізація прискорення розвороту частини $\ddot{\beta} \approx 0$ дозволяє аналітично інтегрувати отриманий вираз, що дає можливість отримати мінімально необхідну довжину решета:

$$L = \frac{ctg\beta_{\text{кр}} - ctg\beta_0 - (\beta_0 - \beta_{\text{кр}})}{K},$$

де K – коефіцієнт, величина якого розраховується за виразом:

$$K = \frac{2 \cdot |f_1 - f_2|}{\text{B} \cdot (f_1 + f_2)}.$$

Отримане рівняння дозволяє спрогнозувати довжину решета, на якій частинка, яка потрапила на решето від початковим кутом β_0 розвернеться до критичного $\beta_{\text{кр}}$, який фактично є «кутом просіювання».

Висновки.

Отримана аналітична залежність потрібної довжини решета підтверджує висунуту гіпотезу щодо можливості інтенсифікації процесу орієнтації частинок здовж решета, оскільки фактично є функцією коефіцієнтів тертя. Даний розв’язок є наближеним (квазістаціонарним – прийнятим при $\ddot{\beta} \approx 0$), оскільки не враховує динаміку повороту частинки і є справедливим лише при малих швидкостях поздовжнього переміщення, тому потребує проведення подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Бажан І. М., Васильковський О. М., Лещенко С. М., Амосов В. В. Інтенсифікація процесу сепарації зерна на плоскому коливальному решеті із зигзаговидним розташуванням отворів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2024. Вип. 54. С. 192–202. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.192-202.
2. Бажан І. М. Аналіз руху частки по решету з зигзаговидно розташованими отворами. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2025. Вип. 4 (62). С. 8–13. DOI: https://doi.org/10.32782/msnau.2025.4.2.
3. Котов Б. І., Степаненко С. П., Калініченко Р. А. Теоретичне обґрунтування руху частинки зерна на вібропневморешеті при дії розпушуючих робочих органів. Науковий вісник НАУ. 2007. Вип. 115. С. 112–117.
4. Степаненко С. П. Підвищення ефективності вібропневматичних сепараторів зерна : дис. … канд. техн. наук. Глеваха : ННЦ «ІМЕСГ», 2008. 183 с.
5. Спосіб інтенсифікації сепарації насіннєвих матеріалів на решетах з прямокутними отворами : пат. 84498 Україна : МПК B07B 1/00. № u 2013 04561 / М. В. Бакум, С. О. Харченко, М. О. Винокуров, О. С. Вотченко та ін. ; власники М. В. Бакум та ін. ; заявл. 11.04.2013 ; опубл. 25.10.2023, Бюл. № 20/2013.
6. Спосіб інтенсифікації сепарації насіннєвих сумішей на плоских решетах : пат. 50874 Україна : МПК B07B 1/00. № u 2009 13683 / С. О. Харченко, М. В. Бакум ; власник Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка ; заявл. 28.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12/2010.

УДК 664.7:633.34

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО МЛИНА ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ

Липницький Р. М.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Соя є джерелом білка для виробництва комбікормів, однак необроблене зерно містить антипоживні речовини, зокрема інгібітори трипсину. Інфрачервона мікронізація за належного режиму термічної дії сприяє зниженню їх активності. Подальше подрібнення зерна має забезпечувати необхідний гранулометричний склад кормового продукту за прийнятних енергетичних витрат. У вібраційному млині руйнування частинок відбувається під дією багаторазових контактів із подрібнювальними тілами. Для вибору

режиму роботи обладнання необхідно узгодити амплітуду і частоту коливань, завантаження камери та вимоги до крупності продукту.

Аналіз останніх досліджень. Купчук І. М. та Дідик А. М. [1] дослідили вплив конструкційних параметрів і режимів роботи вібраційної дискової дробарки на якість подрібнення зернових кормів. Паламарчук І. П., Янович В. П. та Купчук І. М. [2] обґрунтували режимні параметри процесу подрібнення зернової сировини у вібророторній дробарці, враховуючи амплітуду коливань, віброшвидкість, віброприскорення та споживану потужність обладнання. Купчук І. М. та Волинець Є. О. [3] проаналізували сучасні технології інактивації антипоживних речовин сої, що є одним із ключових завдань підготовки зерна до використання у складі кормів. Водночас визначення раціональних конструкційно-режимних параметрів вібраційного млина для подрібнення попередньо мікронізованого зерна сої потребує окремого теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки.

Мета дослідження. Сформувати теоретичні передумови вибору амплітудно-частотних параметрів вібраційного млина для подрібнення мікронізованого зерна сої та визначити показники, за якими надалі можна оцінювати енергоємність і ступінь подрібнення.

Результати дослідження. Для теоретичного обґрунтування конструкційно-режимних параметрів вібраційного млина розглянуто спрощену одновимірну модель коливального руху його робочої камери. Принципову схему обладнання наведено на рис. 1. Робоча камера млина встановлена на пружних опорах, які забезпечують можливість її коливального руху під дією віброзбуджувача. Усередині камери розміщуються подрібнювальні тіла та попередньо мікронізоване зерно сої. Під час роботи обладнання коливання камери спричиняють переміщення подрібнювальних тіл, які взаємодіють із частинками зерна та забезпечують їх руйнування внаслідок ударних і стиральних навантажень. Інтенсивність цього процесу залежить від амплітуди й частоти коливань, геометричних характеристик подрібнювальних тіл і ступеня завантаження робочої камери.



Рис. 1. Ілюстративна конструкційна схема вібраційного млина: 1 - кришка камери; 2 - робоча камера; 3 - розвантажувальний патрубок; 4 - пружні опори; 5 - віброзбуджувач; 6 - частотний перетворювач; 7 - рама

Робоча камера здійснює гармонічні коливання зі сталою амплітудою A та частотою f. Її переміщення, швидкість і прискорення задаються співвідношеннями:

$$x(t) = Asin(\omega t); \omega = 2\pi f, \quad (1)$$

$$v(t) = A\omega cos(\omega t); v_{\max} = A\omega, \quad (2)$$

$$a(t) = -A\omega^2 sin(\omega t); a_{\max} = A\omega^2 \quad (3)$$

де x - переміщення камери, м;

t - час, с;

A - амплітуда, м;

ω - кутова частота, рад/с;

f - частота, Гц.

З формул (1)-(3) випливає, що за незмінної амплітуди подвоєння частоти приводить до подвоєння максимальної швидкості й чотириразового збільшення максимального прискорення камери. Ці співвідношення є кінематичними: самі по собі вони не визначають ні продуктивності млина, ні фактичної енергії ударів.

Для попереднього аналізу вертикальних коливань запропоновано застосовувати безрозмірне відношення максимального прискорення камери до прискорення вільного падіння:

$$\Gamma = A\omega^2/g, \quad (4)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с².

У гранично спрощеній схемі окремого вільного тіла на горизонтальній опорі значення Γ > 1 означає можливість відриву від опори. У реальному млині траєкторії подрібнювальних тіл залежать також від зіткнень, тертя, геометрії камери та ступеня завантаження, тому критерій (4) не можна вважати достатньою умовою ефективного подрібнення.

Для порівняння режимів після виготовлення лабораторного зразка доцільно визначати питому витрату електроенергії та ступінь подрібнення за такими співвідношеннями:

$$e = P/Q; i = d^{50}, \text{вх}/d^{50}, \text{вих}, \quad (5)$$

де e - питома витрата електроенергії, кВт·год/кг;

P - середня споживана потужність, кВт;

Q - продуктивність за масою, кг/год;

i - ступінь подрібнення;

d^{50}, вх і d^{50}, вих - медіанні розміри частинок до та після обробки, мм.

Для коректного визначення e потужність слід вимірювати за однакових умов роботи млина, а гранулометричний склад - оцінювати за узгодженою методикою.

Запропонована схема подальшого дослідження передбачає: створення імітаційної моделі руху подрібнювальних тіл; варіювання A, f і ступеня завантаження; виготовлення лабораторного зразка; вимірювання P, Q та гранулометричного складу продукту. Фізико-механічні властивості зерна необхідно визначати для конкретного режиму попередньої мікронізації. Без

таких вихідних даних і випробувань числові значення раціональних параметрів млина встановити неможливо.

Висновки. Отримано кінематичні співвідношення для попереднього вибору амплітуди й частоти коливань робочої камери та визначено межі застосування критерію віброприскорення. Для оцінювання технологічної ефективності запропоновано спільно використовувати питому витрату електроенергії й ступінь подрібнення. Наведені залежності становлять теоретичну основу для подальшого імітаційного моделювання та експериментального визначення режимів подрібнення мікронізованого зерна сої; експериментальні результати в цій роботі не заявляються.

Список використаних джерел

1. Купчук І. М., Дідик А. М. Експериментальна оцінка якості подрібнення зернових кормів залежно від конструкційних параметрів та режимів експлуатації вібраційної дискової дробарки. Вібрації в техніці та технологіях. 2022. № 2 (105). С. 33-44. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-4.

2. Паламарчук І. П., Янович В. П., Купчук І. М. Обґрунтування режимних параметрів процесу подрібнення зернової крохмалевмісної сировини спиртової промисловості. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2014. Вип. 46, т. 2. С. 231-235. URL: https://journals.uran.ua/swonaft/article/view/40715.

3. Купчук І. М., Волинець Є. О. Огляд сучасних технологій інактивації антипоживних речовин сої. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2024. № 1 (124). С. 26-32. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-3.

УДК 631.362

ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПОВНОЦІННОГО ЗЕРНА ПІД ЧАС ТРІЄРНОГО ОЧИЩЕННЯ

Крючок О. Є., Левченко Ю. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Зернова маса, яка надходить на зерноприймальні пункти, характеризується неоднорідністю складу та наявністю домішок, що відрізняються від зерна основної культури розмірами, формою й іншими фізико-механічними властивостями. Особливу складність становить відокремлення компонентів, близьких до основного зерна за шириною і товщиною, але менших за довжиною. Для такого розділення застосовують трієри. У зерновій масі пшениці до коротких компонентів можуть належати насіння окремих бур’янів і фрагменти зернівок основної культури [1].

На зерноприймальних пунктах зміна складу партій і нерівномірність надходження сировини потребують відповідного налаштування очисного

обладнання. Використання незмінного режиму роботи трієра для різних зернових сумішей може супроводжуватися неповним вилученням коротких домішок або потраплянням повноцінного зерна до відокремленої фракції. Тому вдосконалення системи очищення доцільно спрямувати на узгодження подачі матеріалу, параметрів комірчастої поверхні та режимів роботи трієрного блока.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [2] досліджено вплив частоти обертання трієрного циліндра, положення приймального жолоба та подачі матеріалу на ефективність розділення пшениці й кукурудзи за довжиною. Результати підтверджують необхідність добору режимів для конкретних умов роботи машини. У дослідженні [3], виконаному на рисі, встановлено взаємний вплив частоти обертання циліндра та кута встановлення жолоба на ефективність відокремлення подрібнених зернівок. Це свідчить про недоцільність ізольованого регулювання лише одного параметра.

У праці [4] розглянуто моделювання руху зерна пшениці в барабані трієра та визначення положення приймального жолоба з урахуванням траєкторій випадання зернівок із комірок. Водночас застосування отриманих у різних дослідженнях результатів на зерноприймальних пунктах потребує врахування характеристик конкретної партії та продуктивності всієї технологічної лінії.

Мета досліджень. Обґрунтувати напрями підвищення якості очищення зерна від коротких домішок на зерноприймальних пунктах шляхом стабілізації подавання зернової суміші, узгодження режимів роботи трієра та контролю втрат повноцінного зерна.

Результати досліджень. На підставі аналізу джерел [1–4] запропоновано розглядати вдосконалення системи очищення за трьома взаємопов’язаними напрямами: підготовка зернової суміші до трієрування, регулювання процесу розділення за довжиною та контроль складу вихідних фракцій.

Перший напрям передбачає подавання на трієр попередньо очищеної зернової суміші. Повітряно-решітне очищення має забезпечувати відокремлення компонентів, які можна вилучити за аеродинамічними властивостями, шириною та товщиною. Трієрний блок доцільно використовувати для подальшого розділення тих компонентів, визначальною відмінністю яких є довжина.

Для зменшення коливань навантаження пропонується передбачити перед трієром проміжну накопичувальну ємність із регульованим живильником. Її корисний об’єм потрібно визначати за нерівномірністю надходження зерна та необхідною тривалістю вирівнювання потоку. Наявність такої ємності сама по собі не забезпечує сталої подачі, тому живильник необхідно налаштовувати за фактичною масовою витратою матеріалу.

Другий напрям охоплює узгоджений вибір розмірів комірок, частоти обертання циліндра та положення приймального жолоба. Перед налаштуванням запропоновано визначати розподіл зерна основної культури й коротких домішок за довжиною. Якщо ці розподіли істотно перекриваються, повне розділення лише за довжиною є обмеженим. За таких умов підвищення повноти вилучення домішок може супроводжуватися збільшенням втрат основного зерна.

Для зміни швидкісного режиму доцільно розглянути застосування регульованого електропривода трієрного циліндра. Механізм установлення жолоба пропонується доповнити шкалою положення та надійним фіксатором. Це дасть можливість відтворювати попередньо перевірені налаштування під час оброблення подібних партій. Конкретні діапазони регулювання необхідно встановлювати з урахуванням конструкції та допустимих режимів роботи обладнання.

Третій напрям передбачає контроль не лише очищеного зерна, а й фракції, відведеної приймальним жолобом. Її не слід автоматично вважати остаточними відходами, оскільки разом із короткими домішками вона може містити повноцінне зерно та придатні для окремого використання зернові фрагменти. За підвищеного вмісту повноцінного зерна доцільно передбачити контрольне розділення цієї фракції. Повертати до основного потоку варто лише перевірену зернову частину, щоб уникнути повторного внесення домішок.

Для оцінювання запропонованих рішень доцільно використовувати показник повноти вилучення коротких домішок:

$$\eta = \frac{m_{\text{д,в}}}{m_{\text{д,0}}} \cdot 100$$

де $m_{\text{д,в}}$ – маса коротких домішок, вилучених із дослідної партії, кг;

$m_{\text{д,0}}$ – їхня початкова маса в цій партії, кг.

Втрати повноцінного зерна визначають за залежністю:

$$L = \frac{m_{\text{з,в}}}{m_{\text{з,0}}}$$

де $m_{\text{з,в}}$ – маса повноцінного зерна, виведеного з відходами після передбаченого контрольного очищення, кг;

$m_{\text{з,0}}$ – початкова маса повноцінного зерна в дослідній партії, кг.

Для коректного порівняння режимів необхідно забезпечити облік маси всіх вихідних фракцій і врахувати залишок матеріалу в машині. Додатково слід визначати продуктивність лінії та залишковий вміст коротких домішок в очищеному зерні.

Перевірку запропонованої системи доцільно проводити послідовно: охарактеризувати вихідну партію, встановити базовий режим, змінювати подачу й параметри трієра, відібрати проби вихідних фракцій та порівняти отримані показники. Раціональним слід вважати режим, який забезпечує необхідну якість очищення за допустимих втрат зерна й заданої продуктивності. Очікуваний ефект запропонованих змін потребує експериментального підтвердження.

Висновки. Підвищення якості очищення зерна від коротких домішок доцільно забезпечувати узгодженням підготовки сировини, рівномірності її подавання та режимів роботи трієра. Запропоновано використання проміжної ємності з регульованим живильником, регулювання частоти обертання циліндра, відтворюване налаштування приймального жолоба та контроль складу вихідних фракцій.

Ефективність удосконаленої системи необхідно оцінювати одночасно за повнотою вилучення коротких домішок, втратами повноцінного зерна та

продуктивністю. Остаточні параметри обладнання слід визначати за результатами випробувань на конкретній зерновій сировині з урахуванням умов роботи зерноприймального пункту.

Список використаних джерел

1. ОЛіС. Основні технологічні особливості й устаткування для очищення зерна (ч. 1). URL: https://olis.com.ua/press-centre/statii/ochistka-zerna-1/.

2. Tawfik M. A., El-Shal A. M., El-Fawal Y. A. Factors affecting the performance of an indented cylinder separator. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 28, No. 2. P. 401–415. DOI: 10.21608/mjae.2011.105264.

3. Kim M. H., Park S. J. Analysis of broken rice separation efficiency of a laboratory indented cylinder separator. *Journal of Biosystems Engineering*. 2013. Vol. 38, No. 2. P. 95–102. DOI: 10.5307/JBE.2013.38.2.095.

4. Баб'як В., Кравець О. Моделювання руху зерна пшениці у процесі очищення в барабані трієра марки БТХМ-2. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 7–11 квітня 2025 р.). Київ: НУХТ, 2025. Ч. 2. С. 19. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50052.

УДК 621.926.9:004.94:633.34

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКЦІЙНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ МЛИНА

Ніщаков І. В.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Підвищення ефективності переробки зернобобової сировини потребує удосконалення операцій тонкого подрібнення. Для зерна сої зменшення розмірів частинок сприяє збільшенню питомої поверхні матеріалу, покращенню однорідності сумішей та інтенсифікації наступних технологічних операцій. Ефективність роботи вібраційного млина визначається амплітудою і частотою коливань, діаметром подрібнювальних тіл, ступенем заповнення робочої камери та тривалістю обробки. Встановлення раціонального поєднання цих параметрів лише експериментальним шляхом є трудомістким, тому доцільним є використання комп'ютерного моделювання.

Аналіз останніх досліджень. Для дослідження процесів у вібраційних млинах широко застосовується метод дискретних елементів (DEM), який дає змогу визначати траєкторії руху частинок, швидкості, сили контактної взаємодії, частоту й енергію зіткнень [1–4]. У працях T. Yokoyama та співавт. показано можливість моделювання поведінки подрібнювального середовища залежно від

ступеня заповнення млина [3]. H. Lee та співавт. пов'язали показники руйнування матеріалу з енергією ударів, визначеною за DEM-моделлю [2]. Сучасні дослідження підтверджують також істотний вплив діаметра подрібнювальних тіл і заповнення робочої камери на ефективність тонкого подрібнення [1, 4].

Мета досліджень. Розробити імітаційну комп'ютерну модель процесу вібраційного подрібнення мікронізованого зерна сої та встановити взаємозв'язки між конструкційно-режимними параметрами вібраційного млина і показниками інтенсивності механічної обробки матеріалу.

Результати досліджень. Для опису робочого процесу вібраційного млина прийнято гармонічний закон руху камери

$$x(t) = A \cdot sin(2\pi f t) \quad (1)$$

A – амплітуда коливань, м; f – частота коливань, Гц; t – час, с. Для узагальненої оцінки інтенсивності вібраційного впливу використано безрозмірний коефіцієнт перевантаження

$$\Gamma = \frac{A(2\pi f)^2}{g} \quad (2)$$

Застосування кінематичних і енергетичних характеристик для аналізу руху подрібнювального середовища узгоджується з підходами, наведеними у роботах. У комп'ютерному експерименті основними змінними факторами прийнято амплітуду A та частоту f, а інтегральний показник ефективності Ke сформовано як узагальнену характеристику інтенсивності контактної взаємодії, енергії зіткнень і корисного механічного впливу на матеріал. Для виявлення області раціональних режимів результати подано у вигляді двовимірної контурної залежност

$$K_e = f(A, f) \quad (3)$$

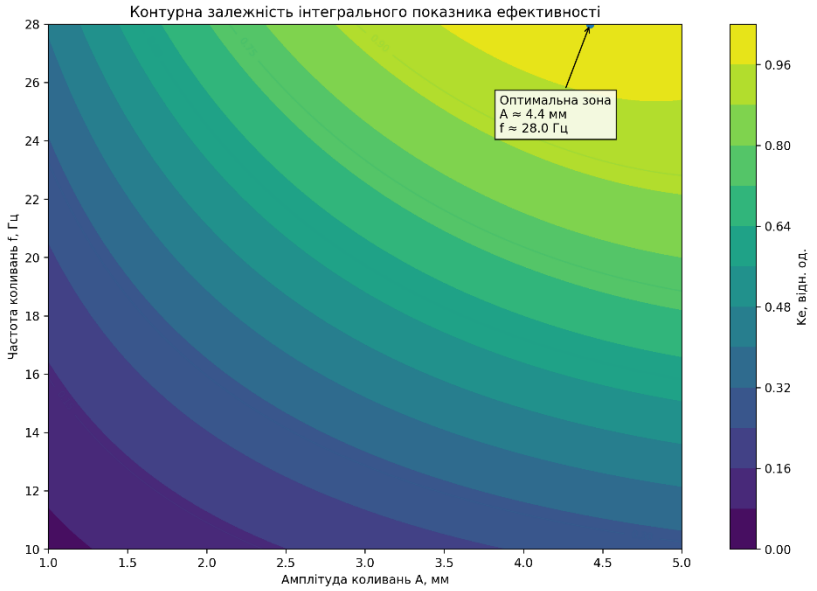


Рис. 1. Контурна залежність інтегрального показника ефективності подрібнення Ke від амплітуди та частоти коливань

На рис. 1 наведено результат модельного багатофакторного комп'ютерного експерименту. Контурна карта відображає зміну інтегрального показника ефективності подрібнення Ke залежно від амплітуди A та частоти f коливань. Така форма подання результатів дає змогу одночасно оцінити вплив двох керованих параметрів і визначити область їх раціонального поєднання. Найвищі значення Ke формують локалізовану оптимальну зону, тоді як відхилення від неї у бік надто малих або надто великих значень A і f супроводжується зниженням ефективності механічної обробки.

За малих значень амплітуди та частоти енергія контактної взаємодії є недостатньою для інтенсивного руйнування частинок. Зі збільшенням A і f зростають швидкість руху подрібнювальних тіл, частота ефективних зіткнень і передана матеріалу енергія. Після досягнення раціональної області подальше підвищення режимних параметрів не забезпечує пропорційного приросту корисного ефекту через збільшення непродуктивних енергетичних втрат, демпфування шару та зношування робочих поверхонь [1, 4]. Отже, контурна залежність може використовуватися для обґрунтування режимів роботи вібраційного млина за критерієм максимальної ефективності при обмежених енергетичних витратах.

Висновки. Запропоновано підхід до комп'ютерного моделювання процесу вібраційного подрібнення мікронізованого зерна сої з урахуванням конструкційно-режимних параметрів млина. Побудована контурна залежність $Ke = f(A, f)$ дозволяє одночасно оцінювати вплив амплітуди та частоти коливань і визначати область раціональних режимів. Встановлено, що ефективність процесу має нелінійний характер: за недостатніх значень A і f інтенсивність механічної дії є низькою, а надмірне їх збільшення супроводжується зростанням непродуктивних енергетичних втрат. Отриманий підхід доцільно використовувати для подальшої оптимізації режимів роботи вібраційного млина та планування натурних експериментів.

Список використаних джерел

1. Tomach P. The Influence of the Grinding Media Diameter on Grinding Efficiency in a Vibratory Ball Mill. Materials. 2024. Vol. 17, No. 12. 2924. DOI: 10.3390/ma17122924.

2. Lee H., Cho H., Kwon J. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill. Powder Technology. 2010. Vol. 198, No. 3. P. 364–372.

3. Yokoyama T., Tamura K., Usui H., Jimbo G. Simulation of ball behavior in a vibration mill in relation with its grinding rate. International Journal of Mineral Processing. 1996. Vol. 44–45. P. 413–424.

4. Bogdanov V. S., Lozovaya S. Y., Fadin Y. M., Bogdanov N. E. Usage of discrete element method in the research of vibrating mills with circular vibrations of the grinding chamber. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 786. 012019.

УДК 631.363.21

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПИТОМУ ЕНЕРГОЄМНІСТЬ МОЛОТКОВОГО ПОДРІБНЕННЯ

Попов С. В., Боровик В. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Подрібнення зернових матеріалів є однією з найбільш енергоємних операцій під час виробництва комбікормів. Ефективність цього процесу визначається як конструкцією робочого органу і режимом роботи машини, а також властивостями перероблюваного матеріалу [1]. Тому використання однакових технологічних параметрів для різних зернових культур не завжди забезпечує однаковий рівень енергетичної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для молоткових дробарок важливе значення мають конструктивні та режимні параметри робочих органів, а також властивості зернового матеріалу, що визначають характер його руйнування при ударному впливі [2]. При цьому енергія, що повідомляється молотком частинці, витрачається не тільки безпосередньо на утворення нових поверхонь руйнування, а й на деформацію матеріалу, переміщення частинок та їх повторну взаємодію з робочими органами [3].

У попередніх дослідженнях [4, 5] основна увага приділялася удосконаленню конструкції молоткової дробарки та оцінки її експлуатаційних показників. Однак отримані експериментальні дані дозволяють розглянути процес з іншої позиції – встановити взаємозв'язок між властивостями різних зернових матеріалів та енергією, що споживається. Такий підхід є важливим для вибору оптимальних режимів роботи обладнання.

Мета. Метою роботи було визначення впливу властивостей зернових матеріалів на питому енергоємність процесу молоткового подрібнення.

Як об'єкт дослідження використовувалася молоткова дробарка ДМ-360 з вертикальним розташуванням ротора. Машина оснащена шістьма молотками, робочий діаметр ротора становить 360 мм, частота обертання – 3000 об/хв, встановлена потужність електродвигуна – 5,5 кВт. Номінальна продуктивність дробарки знаходиться в діапазоні 140...365 кг/год.

Результати досліджень. Дослідження проводилися для трьох найпоширеніших зернових культур – кукурудзи, пшениці та ячменю. Для кожного матеріалу визначалися продуктивність установки та питомі витрати електроенергії. Додатково оцінювався гранулометричний склад одержаного продукту, що дозволяло пов'язати енергетичні показники з характером руйнування зернівки.

Як основний енергетичний показник використовувалася питома енергоємність процесу, q, Вт·год / кг [6]:

$$q = \mathrm{W}/m,$$

де W – витрачена електрична енергія, Вт · год;

m – маса подрібненого матеріалу, кг.

Такий показник дозволяє порівнювати енергоємність процесу за різної продуктивності подрібнення окремих культур.

Експериментальні дослідження показали суттєву різницю енергетичних характеристик дробарки під час роботи з різними зерновими матеріалами. Отримані значення питомих енерговитрат склали: кукурудза – 15,1 Вт·год/кг; пшениця – 34,4 Вт·год/кг; ячмінь – 40,3 Вт·год/кг.

Таким чином, при однаковій конструкції машини та однаковій частоті обертання ротора енергетичні витрати на подрібнення різних культур відрізняються більш ніж удвічі. Це свідчить про суттєвий вплив властивостей самого матеріалу на енергетичний баланс процесу.

Найбільш низька енергоємність процесу одержана при подрібненні кукурудзи. Її зернівка характеризується відносно пухкою структурою ендосперму та високою крихкістю. При ударному впливі руйнація відбувається порівняно легко, унаслідок чого зменшується кількість повторних ударів, необхідних для досягнення заданого ступеня подрібнення. У результаті скорочується час перебування матеріалу в робочій камері та знижується споживання енергії.

Для пшениці отримано проміжні значення енергетичних витрат. Зернівка має більш щільну структуру і потребує більшої енергії для руйнування в порівнянні з кукурудзою. Разом з тим, відсутність вираженої волокнистої оболонки сприяє досить рівномірному руйнуванню матеріалу. Внаслідок цього значна частина енергії робочого процесу безпосередньо використовується на руйнування зернівки, без надмірного збільшення кількості повторних ударів.

Найбільш високі питомі енерговитрати відзначені при подрібненні ячменю – 40,3 Вт·год/кг. Основною причиною є складніший характер руйнування зернівки, зумовлений наявністю плівчастої оболонки та волокнистих компонентів. При ударному вплив частина енергії витрачається на пружну деформацію оболонки, тому для руйнування матеріалу потрібна більша кількість повторних взаємодій з молотками.

Отримані результати узгоджуються з характером гранулометричного складу продукту. Для пшениці формується стабільніший розподіл частинок, причому значна їх частина знаходиться в діапазоні 0,7...2,0 мм, який розглядається як раціональний для виробництва комбікормів. При подрібненні ячменю відзначається підвищена варіація дрібних фракцій та водночас більша кількість великих частинок, що характеризує менш рівномірний процес руйнування.

Таким чином, енергетичну ефективність молоткового подрібнення не можна оцінювати лише за потужністю приводу машини. За однакової встановленої потужності привода та однакових кінематичних параметрів робочого органу фактична енергоємність процесу визначається здатністю конкретного матеріалу руйнуватися під впливом ударних навантажень. Для наочного порівняння отримані результати наведено в таблиці.

Таблиця – Енергетичні показники подрібнення зернових матеріалів

Зерновий матеріал	Питомі витрати електроенергії, q, Вт·год / кг	Характер руйнування
Кукурудза	15,1	Переважно крихке, легке руйнування
Пшениця	34,4	Порівняно рівномірне руйнування
Ячмінь	40,3	Складне руйнування з повторними ударами

Аналіз даних показує, що перехід від найбільш легкоруйнівного матеріалу (кукурудзи) до складніших для подрібнення пшениці та ячменю супроводжується суттєвим збільшенням питомої енергоємності.

При цьому фізико-механічні властивості зерна можуть впливати одночасно на кілька показників процесу. Матеріал зі складнішим характером руйнування потребує більшої кількості ударних впливів, що може знижувати продуктивність та збільшувати питому енергоємність. Наявність оболонки додатково сприяє утворенню неоднорідного продукту та збільшує ймовірність повторної циркуляції частинок у робочій камері. У дослідженні встановлено, що підвищений вміст дрібних пилоподібних фракцій може свідчити про повторне проходження матеріалу через зону подрібнення та недостатньо ефективне його відведення.

Отже, універсальний режим роботи дробарки для всіх зернових культур не є оптимальним із енергетичної точки зору. Для отримання необхідної якості продукту необхідно враховувати властивості вихідного матеріалу на етапі вибору режиму експлуатації машини.

Отримані результати дають змогу сформулювати принцип адаптивного вибору режимів роботи молоткових дробарок. При переробці матеріалів, що легко руйнуються, таких як кукурудза, основним напрямом є забезпечення необхідної продуктивності за мінімального часу перебування матеріалу в робочій камері.

Для більш міцних і складних культур, передусім ячменю, підвищення ефективності слід пов'язувати не тільки зі збільшенням інтенсивності ударного впливу. Надмірне збільшення інтенсивності може призвести до утворення надмірної дрібної фракції та додаткових енергетичних витрат. Більш перспективним є узгодження параметрів робочого органу, решета та режиму подачі матеріалу з фізико-механічними характеристиками конкретної культури.

Таким чином, перспективним напрямком удосконалення молоткових дробарок є створення регульованих робочих режимів, що дозволяють змінювати параметри процесу в залежності від виду зерна, що переробляється. Це особливо

актуально для невеликих та середніх підприємств, де одна машина використовується для переробки кількох видів сировини.

Висновки:

1) експериментально встановлено, що фізико-механічні властивості зернового матеріалу істотно впливають на енергетичну ефективність молоткового подрібнення;

2) за однакових конструктивних та кінематичних параметрах дробарки ДМ-360 питома енергоємність становила 15,1 Вт·год/кг для кукурудзи, 34,4 Вт·год/кг для пшениці та 40,3 Вт·год/кг для ячменю;

3) мінімальна енергоємність подрібнення кукурудзи пов'язана з її високою крихкістю та порівняно легким руйнуванням зернівки. Для ячменю наявність плівчастої оболонки та волокнистої структури призводить до необхідності повторних ударних впливів та, відповідно, підвищення енерговитрат;

4) виявлено тенденцію до підвищення питомої енергоємності зі зростанням складності руйнування зернового матеріалу;

5) підвищення енергоефективності молоткових дробарок доцільно забезпечувати не тільки вдосконаленням конструкції машини, але й адаптацією режимів подрібнення до фізико-механічних властивостей матеріалу, що переробляється.

Список використаних джерел

1. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва: навчальний посібник. Тернопіль, 2002. 251 с.

2. Рибальченко В. Д., Костенко О. М. Вплив конструктивних параметрів робочих органів дробарки на процес подрібнення зерна. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КРНУ, 2023. Випуск 4(141). С.138-145.

3. Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О., Волков О.П. Обґрунтування оптимального співвідношення конструктивних параметрів молоткової дробарки. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Вип. 1, т. 23. Мелітополь. 2001. С. 13-18.

4. Біловод О.І., Попов С.В., Скоряк Ю.Б. Розробка та дослідження енергоощадної молоткової дробарки. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, ТДАТУ, 03-28 листопада 2025 р. Запоріжжя, 2025. С. 157-159.

5. Попов С. В., Скоряк Ю. Б. Експериментальна оцінка ефективності конструкції молоткової дробарки. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Вип. 53, том 1. С. 170-177.

6. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2008. 543 с.

УДК 631.563.2:633.854.78

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЗОНУВАННЯ ТЕПЛОНОСІЯ

Присяжнюк Д. В., Горбатюк Р. М.
ВСП «Ладижинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Найбільшого поширення в технології сушіння зерна набуло сушіння з конвективним підведенням теплоти. При цьому необхідна для випаровування вологи енергія передається зерну у вигляді нагрітого газу – повітря або суміші повітря з продуктами згоряння палива.

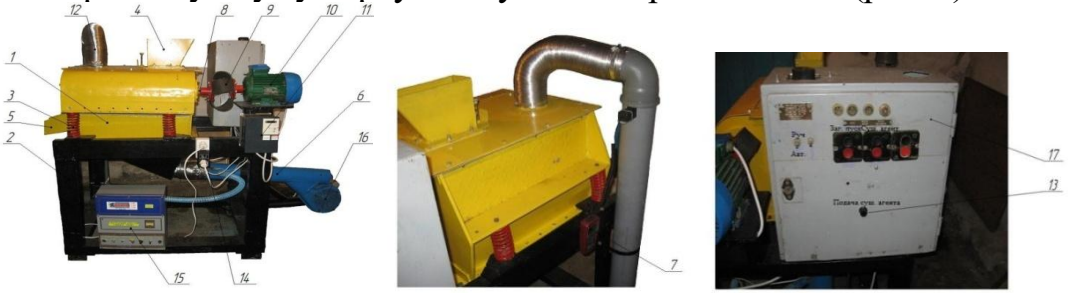
Але поряд із своїми перевагами конвективний метод має і ряд недоліків, основним з яких є значна енергоємність процесу. В зв'язку з чим відбувається інтенсивний пошук методів зниження енерговитрат і підвищення продуктивності процесу [1].

Аналіз останніх досліджень. Використання озону в аграрній галузі вважається перспективним напрямком. Зокрема, озонування зерна позитивно позначається як на зниженні енерговитрат при виконанні технологічного процесу післязбиральної обробки, так і на підвищенні тривалості його зберігання і смакових якостях [2].

Отже, переваги впровадження використання технології озонування теплоносія при сушінні насіння пшениці очевидні, але дане впровадження в традиційних зернових сушарках з їхніми вагомими недоліками не забезпечує рівномірності обробки. Дану проблему дозволяють вирішити вібраційні сушарки, які значно інтенсифікують процес сушіння за рахунок постійного оновлення площі взаємодії матеріалу, що висушується, з сушильним агентом [3].

Мета дослідження. Зниження енерговитрат при сушінні насіння пшениці за рахунок використання технології озонування теплоносія.

Результати дослідження. Виходячи із мети дослідження було розроблено та виготовлено віброозонуючу сушарку для сушіння зерна пшениці (рис. 1).



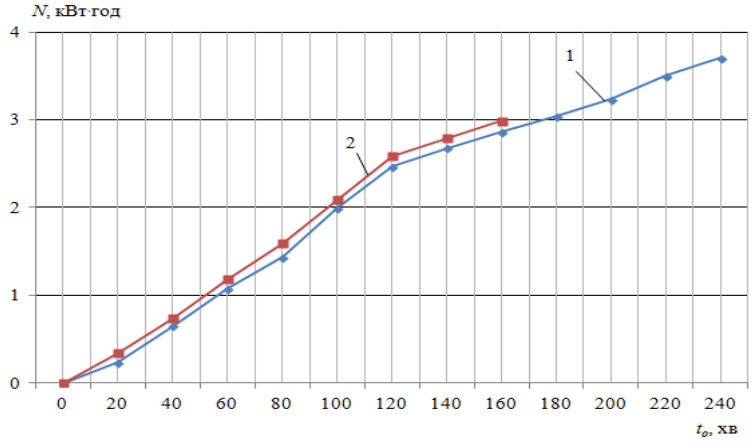
а) б) в)

Рис. 1. Віброозонуюча сушарку для сушіння зерна пшениці

а) – вигляд спереду; б) – вигляд ззаду; в) – вигляд збоку; 1 – U-подібна камера; 2 – рама; 3 – пружини; 4, 5 – завантажувальний і розвантажувальний лотки; 6, 12 – повітропроводи; 7 – термоанемометр; 8 – дебалансний вал; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун; 11, 13 – частотні перетворювачі; 14– терморегулятор; 15 – озонатор; 16 – вентилятор; 17 – блок керування

Принцип роботи сушарки полягає в тому, що у сушильну U-подібну камеру 1 підігрітий, насичений озоном з допомогою озонатора 15, теплоносій (сушильний агент) подається вентилятором 16, частоту обертання якого, а заразом і швидкість подачі сушильного агенту, можна регулювати частотним перетворювачем 13. Запуск сушарки і встановлення необхідної тривалості процесу здійснюється з блоку керування 17.

На основі проведених експериментальних дослідженнях було отримано залежність загальних енерговитрат від тривалості обробки t_o (рис. 2).



1 – без озонування теплоносія; 2 – з озонуванням теплоносія

Рис. 2. Зміна загальних енерговитрат сушарки в залежності від типу обробки

Висновки. Аналіз рис. 2 засвідчив, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю $W_к$=14% при початковій вологості $W_п = 20\,\%$ становлять: за використання класичної технології з подачею теплоагенту температурою 50 °С при тривалості обробки 240 хв. – 112,93 Вт · год./кг або 18,82 Вт · год./кг на 1% випаруваної вологи (406,54 КДж/кг або 67,75 КДж/кг на 1% випаруваної вологи); за використання технології озонування теплоносія при тривалості обробки 160 хв. – 91,01 Вт · год./кг або 15,16 Вт · год./кг на 1% випаруваної вологи (327,63 КДж/кг або 54,6 КДж/кг на 1 % випаруваної вологи).

Отже, використання озонування теплоносія при сушінні насіння пшениці є єнергоефективним та потребує подальших досліджень з наступним впровадженням у виробництво.

Список використаних джерел

1. Шаповаленко О.І., Євтушенко О.О., Янюк Т.І. Сушіння та зберігання зерна. Херсон, 2025. 396 с.

2. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Полєвода Ю.А. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки зерна // Наукові праці Національного університету харчових технологій.–2016. Том 22. № 6.–Київ, НУХТ.

3. Ланець О.С Основи розрахунку та проектування вібраційних машин. Книга 1. Теорія та практика створення вібраційних машин з гармонійним рухом робочого органа. Львів, 2018. 610 с.

УДК 664.6/.7

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ КІНОА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА

Самілик М.М., Нагорний Я.В.
Сумський національний аграрний університет

Стрімке зростання попиту на безглютенові продукти харчування вимагає пошуку нових видів високоякісної рослинної сировини збалансованого складу. Особливу увагу в цьому контексті привертає кіноа – псевдозернова культура, яка завдяки унікальному балансу білків, ліпідів та вуглеводів, а також стійкості до несприятливих кліматичних умов, визнана Продовольчою та сільськогосподарською організацією Об'єднаних Націй (ФАО) перспективним інструментом забезпечення глобальної продовольчої безпеки. Використання кіноа у технологіях безглютенового хлібопечення дозволяє суттєво підвищити харчову та біологічну цінність готових виробів, що є актуальним завданням для сучасної переробної галузі.

Попри високий функціональний потенціал кіноа, його широке використання у виробництві безглютенового хліба обмежується наявністю в оболонці зерна сапонінів – гірких глікозидів, які не лише погіршують органолептичні показники готового продукту, а й можуть виявляти токсичні властивості для організму людини. Традиційні методи очищення сировини (наприклад, тривале промивання) є енерго- та водомісткими й призводять до втрати частини цінних нутрієнтів.

У зв'язку з цим виникає науково-практична суперечність між необхідністю максимального залучення кіноа до рецептур безглютенового хліба та відсутністю ефективних, екологічно безпечних і ресурсоощадних технологічних рішень для десапонізації сировини, що й зумовлює необхідність розробки та обґрунтування нових способів переробки кіноа.

При розробці технології переробки кіноа було проаналізовано методи, які використовуються для виділення та збереження сапонінів як цінних біологічно активних речовин, зокрема: твердо-рідинна екстракція (мацерація), ультразвукова екстракція, мікрохвильова екстракція, ензимно-асистована екстракція, екстракція рідиною під тиском. Ці методи розроблені для фармацевтичної та косметичної промисловості [1].

Мацерація – це проста та економічна технологія, принцип якої основано на дифузії та осмосі. Для екстракції активних інгредієнтів з лікарських рослин вона вважається еталонною. Процес екстракції є трудомістким і займає від кількох днів до кількох тижнів. Сапоніни кіноа екстрагують шляхом замочування матеріалу в розчиннику при кімнатній температурі з перемішуванням протягом певного часу. Після цього відбувається розділення твердої та рідкої речовини та видалення розчинника. Традиційна мацерація сапонінів вимагає використання спиртів (метанолу або етанолу) або інших органічних розчинників. Залишки розчинників у борошні для хліба є недопустимими.

Ультразвукова екстракція – це процес, у якому використовуються ультразвукова енергія (>20 кГц) та розчинники для екстракції сапонінів з насіння кіноа. Ультразвук має ефект збільшення індексу набухання насіння. Таким чином, він сприяє як десорбції, так і дифузії сапонінів, що призводить до збільшення кількості екстракту. Але при цьому важливо контролювати температуру, оскільки підвищена температура впливає емульгувальні властивості борошна.

Мікрохвильова екстракція є сучасною технологією екстракції активних інгредієнтів з лікарських рослин, таких як сапонін з насіння кіноа. За допомогою мікрохвильової енергії розчинники, що містять зразки, нагріваються, таким чином екстрагуючи сапоніни. Головною перевагою цього методу екстракції є те, що він швидко нагріває суміш розчинників, що призводить до швидкої екстракції сапонінів. При мікрохвильовому нагріванні руйнуються клітинні структури та частково денатуруються білки, відбувається і клейстеризація крохмалю кіноа.

Ферменти, що використовуються в ензимно-асистованій екстракції, мають здатність виділяти сполуки високої чистоти. Ферментна екстракція є досить дорогою і тому становить суттєве обмеження її використання. pH та температуру ферменту необхідно перевіряти через регулярні проміжки часу, оскільки вони є важливими елементами для забезпечення оптимальної активності ферменту. Ензими (целюлази, пектинази) гідролізують стінки клітин зерна. Замість очищеного цільного зерна або крупи на виході утворюється гідролізована напіврідка маса (суспензія), яку неможливо висушити та розмолоти на якісне борошно для традиційного хлібопечення.

Рідинна екстракція під тиском – це екологічна технологія вилучення поживних речовин з харчових продуктів та рослинних матеріалів. Екстракція під тиском – це метод швидкої екстракції, який використовує високий тиск і температуру для підвищення розчинності та екстракції сапонінів у розчиннику. Розчинником зазвичай є вода або метанол. Цей процес включає безперервне пропускання розчинника через зразок за високих температур, що дозволяє уникнути кипіння та забезпечити оптимальну екстракцію за короткий проміжок часу. Метод використовує високі температури (100–300 °C) і високий тиск для підтримання води в рідкому стані. За таких умов зерно кіноа миттєво зварюється, крохмаль повністю клейстеризується, а білки коагулюють. Отриманий продукт непридатний для подальшого замішування тіста хлібопекарської якості.

Аналіз сучасних методів екстракції показав, що вони спрямовані на руйнування клітинної матриці сировини задля максимального виходу сапонінів як цільового продукту. Для харчових технологій ці методи є неприйнятними, оскільки призводять до деструкції білково-вуглеводного комплексу кіноа, погіршення хлібопекарських властивостей борошна, значних енерговитрат та втрати цінних нутрієнтів. Це обумовлює необхідність розробки саме ощадних способів десапонізації, які видаляють гіркоту, але зберігають нативну структуру зерна.

Метою дослідження було обґрунтування та вибір оптимального способу десапонізації зерна кіноа сорту «Квартет» для його подальшого використання у технології виробництва безглютеновий хліба підвищеної якості.

Для десапонізації та підготовки сировини до хлібопечення запропоновано інші способи попередньої переробки сировини. Об'єктом дослідження обрано зерно кіноа сорту Квартет селекції Сумського національного аграрного університету, який характеризується зниженим початковим вмістом сапонінів (2,8 %).

Досліджено три способи обробки при гідромодулі 1:1 (контроль (К) – нативне зерно):

- триетапне вимочування: настоювання у холодній воді (t = 10 ± 5°С) протягом 30 хв із триразовою заміною води на кожному етапі, висушування та подрібнення;
- термічна обробка: нагрівання у гарячій воді (t = 80 ± 5°С) протягом 10 хв, висушування та подрібнення.
- ультразвукова обробка: експозиція в ультразвуковій ванні UCleaner TV02 (120 Вт, 40 кГц) за температури t = 30 ± 5°С протягом τ = 20 хв, відокремлення води, висушування та подрібнення.

Сушіння всіх зразків здійснювали в лабораторній сушарці за температури t = 40 ± 5°С до залишкової вологості 5–6 %. Результати дослідження показали, що при застосуванні способу холодного настоювання вміст сапонінів знижується на 21,5 %. В зернах залишається слабовідчутна гіркота. Масова частка білків у зерні при такому способі не змінюється.

В процесі варіння хімічний склад зерен кіноа Квартет зазнає найсуттєвіших змін. Аналіз показав, що зразок кіноа містить менше білків (на 0,9 %). Ймовірно, це пов’язано з їх частковим руйнуванням та денатурацією внаслідок теплової обробки. Ввміст сапонінів знижується лише на 40 %, гіркота є дуже слабкою.

Найнижчий вміст сапонінів у зернах кіноа спостерігається після їх ультразвукової обробки. Встановлено, що даний спосіб забезпечує видалення більше 60 % сапонінів, гіркота повністю зникає. Разом з тим, вміст білків залишається незмінним. Застосування такого способу попередньої обробки кіноа показали позитивні результати застосування у виробництві хліба [2].

Висновки. Встановлено, що ультразвукова обробка зерен кіноа Квартет, (t=30 ºС, 40 кГц, τ=20 хв) дозволяє видалити більше 60 % сапонінів та повністю позбутися гіркоти.

Список використаних джерел

1. Karydogianni, S., Roussis, I., Chatzitriantafyllou, M., Kallergi, S., Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Bilalis, D., & Kakabouki, I. (2026). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Saponins and Their Pharmaceutical Potential: A Review. International Journal of Molecular Sciences, 27(15), 6679. https://doi.org/10.3390/ijms27156679.

2. Samilyk, M., Nahornyi, Y., Tkachuk, S., Ryzhkova, T., Gurskyi, P., Savchuk, L., Petrenko, A., & Hrinchenko, D. (2024). Improving the technology of gluten-free bread with quinoa flour. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(11 (131), 43–50. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313159.

УДК 66.047.45

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ ДЛЯ ОБРОБІТКУ НІШЕВИХ КУЛЬТУР

Спірін А. В.
ВСП «Ладижинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Збільшення обсягів виробництва нішевих культур потребує відповідного технічного забезпечення їх післязбиральної обробки. Водночас сезонний характер надходження сировини та відносно невеликі обсяги її переробки часто зумовлюють недостатнє річне завантаження спеціалізованого обладнання, що негативно впливає на його техніко-економічні показники. Збільшення тривалості використання машин протягом року дає змогу зменшити питомі експлуатаційні витрати та собівартість продукції.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є адаптація обладнання, розробленого для переробки однієї культури, до роботи з іншою рослинною сировиною. Такий підхід дає можливість скоротити номенклатуру машин, підвищити їх річне завантаження та уникнути дублювання технічних засобів. Особливої актуальності це набуває під час організації переробки нішевих культур, для яких створення окремої спеціалізованої технологічної лінії може бути економічно недоцільним.

Розроблена технологічна лінія переробки волоських горіхів містить функціональні елементи, які можуть бути використані для інших видів рослинної продукції. Перспективним напрямом є її адаптація для післязбиральної обробки насіння гарбуза, що потребує теоретичного обґрунтування можливості використання базового обладнання та визначення ступеня його необхідної модифікації [1].

Аналіз останніх досліджень. Адаптація технічних систем до роботи з різними матеріалами є одним із напрямів підвищення ефективності використання виробничого обладнання. Проте аналіз наукових джерел показує недостатню кількість досліджень, у яких визначено кількісні критерії оцінювання можливості адаптації технологічних систем сільськогосподарського призначення. У зв’язку з цим технологічну лінію доцільно розглядати як технічну систему, а окремі машини та обладнання - як її функціональні елементи.

Для оцінювання можливості переходу від базової до нової технології запропоновано поділяти елементи технічної системи на такі, що використовуються без змін, використовуються після модифікації або підлягають заміні. Ступінь модифікації може визначатися за енергетичними чи економічними витратами на пристосування обладнання до роботи з новим матеріалом. Такий підхід дає змогу кількісно оцінити рівень технологічної сумісності двох систем [2].

Особливе значення для адаптації технологічної лінії має сушильне обладнання, оскільки воно є однією з основних функціональних ланок післязбиральної обробки рослинної продукції. Раніше встановлені раціональні режими роботи конвективно-вібраційної сушарки для волоських горіхів створюють передумови для її використання після відповідного технологічного доопрацювання під інші види сировини [3].

Мета досліджень. Метою досліджень є обґрунтування можливості використання технологічної лінії переробки волоських горіхів для післязбиральної обробки нішевих культур на прикладі насіння гарбуза шляхом визначення придатності її функціональних елементів та оцінювання необхідного ступеня їх модифікації.

Результати досліджень. За базову технічну систему прийнято технологічну лінію переробки волоських горіхів, призначену для виконання комплексу операцій післязбиральної обробки. До її складу входять бункер-накопичувач, обладнання для миття та очищення, транспортери, геліопідігрівач повітря, конвективно-вібраційна сушарка, озонатор, накопичувальний бункер, калібратор та обладнання для пакування. Така структура дозволяє оцінювати можливість повторного використання окремих функціональних елементів для переробки іншого виду сировини.

Для адаптації лінії до переробки насіння гарбуза визначено можливість використання кожного елемента базової системи. Бункер-накопичувач може бути використаний зі ступенем модифікації 10 %, обладнання для миття - без модифікації, а обладнання для переробки перикарпію в новій системі не використовується. Транспортери та геліопідігрівач повітря потребують близько 5 % модифікації. Конвективно-вібраційна сушарка може бути адаптована зі ступенем модифікації 15 %, озонатор – без суттєвих змін. Накопичувальний бункер, калібратор та обладнання для пакування потребують близько 10 % модифікації [4].

Таким чином, із 11 елементів базової технічної системи два можуть використовуватися без змін, вісім – після часткової модифікації, а один елемент не використовується в новій технології. Середній ступінь модифікації обладнання становить 8,75 %. Отримані результати свідчать, що перехід від переробки волоських горіхів до обробки насіння гарбуза не потребує принципової перебудови технологічної системи, а основна частина її обладнання може зберігати функціональне призначення після незначного технічного доопрацювання.

Для кількісного оцінювання взаємозв’язку базової та адаптованої систем використано коефіцієнти адаптації та пристосування. Розрахункові значення становлять відповідно 0,788 та 0,867. Отримані результати характеризують достатньо тісний взаємозв’язок між технічними системами та підтверджують можливість адаптації технологічної лінії переробки волоських горіхів для післязбиральної обробки насіння гарбуза.

Практичне значення такого підходу полягає у можливості формування гнучких технологічних систем, які можуть використовуватися для декількох

видів рослинної продукції. Збільшення періоду експлуатації обладнання протягом року дає змогу підвищити його нормативне завантаження, скоротити потребу в окремих спеціалізованих машинах та створити передумови для зниження питомих витрат на переробку продукції. Водночас для кожної культури необхідно враховувати фізико-механічні властивості сировини та визначати доцільний рівень модифікації окремих елементів технологічної системи.

Висновки.

Адаптація технологічної лінії переробки волоських горіхів до роботи з іншими видами рослинної сировини є перспективним напрямом підвищення ефективності використання технологічного обладнання та збільшення його річного завантаження.

На прикладі насіння гарбуза встановлено можливість використання більшості елементів базової технологічної лінії. Із 11 елементів два можуть використовуватися без модифікації, вісім – після часткового доопрацювання, один елемент у новій системі не використовується.

Середній ступінь модифікації обладнання становить 8,75 %, що свідчить про можливість адаптації технологічної лінії без принципової зміни її функціональної структури.

Коефіцієнти адаптації та пристосування становлять відповідно 0,788 і 0,867, що підтверджує технологічну сумісність значної частини обладнання базової та нової систем.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г. М., Цуркан О. В., Спірін А. В., Дідик А. М. Технологія переробки волоських горіхів. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. № 2(113). С. 5-13. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-1.

2. Цицюра Я. Г. Адаптивні системи землеробства : конспект лекцій для студентів агрономічного факультету денної та заочної форм навчання спеціальності 201 «Агрономія» освітнього ступеня «Магістр». Вінниця, 2017. 125 с.

3. Lahiri R., Ding J., Chinzara Z. Technology adoption, adaptation and growth. Economic Modelling. 2018. Vol. 70. P. 469-483.

4. Kaletnik G., Tsurkan O., Spirin A., Gudzenko N., Prysiazniuk D., Didyk A. Substantiation of the Operating Parameters of Walnut Drying Equipment. Journal of Engineering Sciences. 2024. Vol. 11, Issue 2. P. F27–F34. DOI: 10.21272/jes.2024.11(2).f4.

УДК 631.362

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗОРУ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПЕРЕРОБЦІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Степаненко С. П.
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Післязбиральна обробка зерна є складовою технологічного процесу, від якої значною мірою залежать якість кінцевої продукції, її зберігання та подальше використання. Одним із ключових етапів цієї обробки є очищення зернової маси від органічних і мінеральних домішок, пошкоджених зернівок та інших небажаних компонентів. Ефективність сепарації визначається не лише конструктивними особливостями зерноочисної машини, а й відповідністю її режимів поточним властивостям зернового матеріалу.

Сучасний розвиток цифрових камер, обчислювальної техніки, алгоритмів обробки зображень та штучного інтелекту створює можливість принципово змінити підхід до контролю зерноочисних процесів. Замість періодичного оцінювання відібраних проб може використовуватися безперервний аналіз зернового потоку безпосередньо під час роботи машини. Це формує технологічну основу для переходу від звичайної автоматизації до адаптивного керування зерноочисним обладнанням.

Аналіз останніх досліджень. Застосування комп'ютерних технологій спочатку було пов'язане переважно з автоматизацією окремих операцій: контролем роботи приводів, вимірюванням температури та вологості, визначенням продуктивності, контролем завантаження робочих органів і накопиченням технологічних даних [1-3]. Наступним етапом стало використання цифрових систем для автоматизованого аналізу відібраних проб зерна.

Поява промислових цифрових камер і спеціалізованих алгоритмів обробки зображень дала змогу перейти до безконтактного визначення характеристик зернівок. За допомогою комп'ютерного зору можуть оцінюватися площа проєкції, довжина, ширина, співвідношення геометричних розмірів, форма, колір, яскравість, текстура поверхні та інші ознаки. На цій основі можливе розпізнавання зерна різних культур, домішок, пошкоджених або некондиційних зернівок.

Перспективним напрямом є також поєднання звичайного оптичного контролю з іншими способами неруйнівного аналізу. Мультиспектральні та гіперспектральні системи дозволяють отримувати інформацію за межами видимого діапазону, а інфрачервоні методи можуть бути використані для оцінювання окремих фізико-хімічних характеристик зерна. Рентгенівські системи, своєю чергою, відкривають можливості виявлення внутрішніх дефектів, які не визначаються звичайною камерою. Отже, сучасний напрям досліджень поступово зміщується від простого контролю якості до створення комплексних інформаційних систем, у яких результати аналізу зернового потоку

використовуються не лише для його оцінювання, а й для автоматичного коригування режимів роботи зерноочисної машини.

Мета. Метою роботи є визначення перспектив використання систем машинного зору та сучасних комп'ютерних технологій у зерноочисних машинах та обґрунтування напрямів переходу від періодичного контролю якості до безперервного інтелектуального керування процесом очищення.

Результати. На початковому етапі цифрові засоби використовувалися переважно як допоміжні системи контролю. Вони забезпечували вимірювання окремих параметрів обладнання та технологічного процесу, але практично не оцінювали безпосередньо якість зернового потоку. Пізніше з'явилися автоматизовані системи аналізу проб, у яких зерно фотографувалося, оброблялося програмними засобами та класифікувалося за певними ознаками. Це дозволило зменшити вплив суб'єктивної оцінки оператора, однак контроль залишався дискретним.

Для реалізації підходу система машинного зору повинна включати декілька функціональних рівнів. Перший рівень забезпечує формування зображення. До нього належать камера, система освітлення, оптичні елементи та конструктивний канал, у якому забезпечуються стабільні умови спостереження. Другий рівень відповідає за цифрову обробку: усунення шумів, корекцію освітлення, виділення об'єктів, визначення їх контурів та формування набору ознак. Третій рівень виконує класифікацію або детектування об'єктів. На цьому етапі можуть застосовуватися як традиційні алгоритми, так і моделі машинного навчання. Особливо важливим є забезпечення роботи системи в умовах реального зернового потоку. При значній продуктивності машини зернівки можуть утворювати декілька шарів, перекривати одна одну та змінювати просторову орієнтацію. Тому для промислового застосування недостатньо лише підвищити роздільну здатність камери. Необхідне комплексне узгодження швидкості руху зерна, частоти отримання кадрів, освітлення, геометрії оглядової зони та обчислювального алгоритму.

Перспективним рішенням є застосування нейронних мереж для автоматичного виявлення зернівок і домішок. На відміну від алгоритмів, які використовують заздалегідь задані порогові значення кольору або геометричних параметрів, моделі глибокого навчання можуть враховувати складні комбінації візуальних ознак. Це особливо важливо для розпізнавання пошкоджених зернівок, частинок бур'янів та інших компонентів, зовнішні ознаки яких частково перекриваються з ознаками повноцінного зерна.

Наступним напрямом розвитку є поєднання RGB-камер із мультиспектральними, гіперспектральними та інфрачервоними сенсорами. Звичайне зображення переважно характеризує зовнішній вигляд зернівки, тоді як спектральна інформація може містити додаткові відомості про її склад, стан поверхні та окремі фізико-хімічні характеристики. Мультимодальний аналіз дає змогу об'єднати ці дані та сформувати більш повну характеристику кожної фракції.

Важливою умовою практичного впровадження систем машинного зору є перенесення обчислень безпосередньо до машини. Використання технологій Edge Computing та спеціалізованих обчислювальних платформ дає можливість виконувати аналіз зображень без постійного передавання великих масивів даних

на зовнішній сервер. Це зменшує затримку між виявленням зміни стану зернового потоку та коригуванням режиму роботи машини.

Подальший розвиток такого підходу може бути пов’язаний із цифровими двійниками зерноочисних машин. Віртуальна модель обладнання, доповнена даними від сенсорів та результатами машинного зору, може використовуватися для прогнозування якості очищення при різних режимах роботи. У перспективі це дозволить не лише реагувати на вже виниклі відхилення, а й завчасно визначати режими, за яких очікується погіршення якості сепарації.

Отже, перспективна система зерноочищення повинна розглядатися не як окрема машина з установленою системою відеоконтролю, а як комплекс, у якому механічна частина, сенсорні засоби, програмне забезпечення та алгоритми керування функціонують як єдина система. Саме інтеграція цих компонентів створює передумови для переходу від традиційного налаштування зерноочисної машини до її автоматичної адаптації відповідно до фактичного стану зернового матеріалу.

Висновки. Системи машинного зору забезпечують отримання в реальному часі інформації про геометричні, колірні, морфологічні та текстурні характеристики зерна і домішок. Поєднання цифрових камер із алгоритмами машинного навчання та глибокими нейронними мережами розширює можливості автоматичної ідентифікації компонентів зернової суміші.

Найбільш перспективним напрямом є створення замкнених систем, у яких результати безперервного контролю зернового потоку використовуються для автоматичної зміни режимних параметрів зерноочисної машини. Подальше поєднання машинного зору з мультиспектральними та гіперспектральними сенсорами, Edge-AI, IoT і цифровими двійниками створює технологічну основу для розроблення адаптивних зерноочисних машин нового покоління.

Список використаних джерел

1. Stepanenko S., Kuzmych A., Borys A., Dnes V., Kharchenko S., Rogovskii I., Golub G., Berezovyi M., Lutsiuk A. Substantiating the YOLO11 architecture for determining the fractional composition of winter wheat grain mixtures // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 4, № 2 (136). P. 81–92. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338124

2. Stepanenko S., Kuzmych A. Intelligent Soybean Seed Fraction Segmentation System Based on the Integration of Spectral Signatures and Precision Neural Network Architectures // Ukrainian Journal of Physical Optics. 2026. Vol. 27, № 4. P. 04016–04033. DOI: https://doi.org/10.3116/16091833/Ukr.J.Phys.Opt.2026.04016.

3. Stepanenko S., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Dnes V., Volyk D., Kalinichenko R. A machine vision approach for grain quality control during separation // Journal of Engineering Sciences. 2025. Vol. 12, № 1. P. E9–E17. DOI: https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2.

УДК 633.522:664.78.01

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ ЯК ОСНОВА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Шейченко В.О., Шейченко Д.В.
Полтавський державний аграрний університет,
Макаєв В.І., Петраченко Д.О.
ВСП «Глухівський агротехнічний фаховий коледж
Сумського національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Технологічні операції очищення, фракціонування, транспортування та обрушування насіння промислових конопель виконують робочі органи, ефективність взаємодії яких із матеріалом залежить від його фізико-механічних характеристик. Геометрична неоднорідність насінин, відмінності за масою та щільністю, а також зміни сипкості залежно від вологості ускладнюють вибір універсальних параметрів обладнання. Тому під час його проектування важливо розглядати властивості насіння не ізольовано, а у взаємозв'язку з функціями конкретних технологічних вузлів.

Аналіз останніх досліджень. У працях із механіки рослинних матеріалів і механіко-технологічних властивостей сільськогосподарської сировини обґрунтовано необхідність урахування характеристик матеріалу під час вибору параметрів робочих органів [1, 2]. У публікації [3] узагальнено геометричні, масові, фрикційні та інші показники насіння конопель. Дослідження [4-5] свідчать про відмінності цих показників між фракціями й залежно від вологості. Водночас наведені значення не є готовими оптимальними налаштуваннями обладнання. Для цього потрібне їх цільове співвіднесення з технологічною операцією і подальша перевірка в робочих умовах.

Мета досліджень. Підвищити ефективність технологічного обладнання переробки насіння промислових конопель шляхом врахування результатів системного аналізу його фізико-механічних характеристик на етапах розроблення обладнання.

Систематизувати опубліковані фізико-механічні характеристики насіння промислових конопель за їхнім інженерним призначенням та визначити, які параметри технологічного обладнання вони можуть обґрунтовувати на етапі попереднього проектування.

Результати досліджень. На підставі зіставлення даних джерел [1-7] виділено три групи характеристик за їхнім впливом на конструкційно-технологічні рішення:

- геометричні (розміри та фракційний склад),
- масово-об'ємні (маса 1000 насінин і об'ємна щільність)
- фрикційні (кут природного ухилу й коефіцієнт тертя).

Вологість розглянуто як чинник змінення показників усіх трьох груп.

За результатами [1, 3, 6], довжина насінин становить 4,49-5,21 мм, ширина

– 3,30-4,41 мм, товщина – 2,65-3,30 мм. Відзначено, що відмінність розмірів зумовлює потребу визначати фракційний склад конкретної партії перед вибором розмірів отворів решіт та режимів сортування. Геометричні параметри також необхідно враховувати під час визначення проміжків у робочих органах [1, 3].

За результатами [3] для партії насіння конопель визначено масу 1000 насінин 17,3-19,2 г та об'ємну щільність 503,8-530,0 г/л за вологості 8,3-10,1 %. Зазначені характеристики уможливили обґрунтовувати місткість приймальних і накопичувальних ємностей, оцінювати масове завантаження та враховувати коливання подачі під час дозування.

Зі збільшенням вологості насіння від 5,39 до 27,12% статичний коефіцієнт тертя збільшився від 0,286 до 0,438, а кут природного ухилу – від 21,75 до 23,00° [5]. Відзначено, що під час вибору кута нахилу самопливних каналів, матеріалу контактних поверхонь та умов розвантаження бункерів необхідно враховувати змінення властивостей насіння. Проте певна кількість наведеного експериментального діапазону вологості перевищує встановлену межу 11% [7]. За таких умов конкретні конструкційні параметри доцільно уточнювати для фактичних умов виробництва.

Узагальнення зв'язку характеристик насіння з інженерними завданнями наведено в таблиці.

Таблиця. Використання характеристик насіння для попереднього обґрунтування параметрів обладнання

Характеристика	Параметр / вузол обладнання	Необхідна перевірка
Геометричні розміри	Розміри отворів решіт, зазори робочих органів	Фракційний склад партії; якість сортування й обрушування
Маса 1000 насінин, об'ємна щільність	Місткість бункерів, масове завантаження, дозування	Параметри конкретної партії; сталість подачі
Кут ухилу, коефіцієнт тертя	Нахил самопливних каналів, контактні поверхні	Сипкість за робочої вологості; повнота розвантаження

Запропонована систематизація встановлює послідовність інженерного обґрунтування: вимірювання показників конкретної партії насіння – попередній вибір геометричних і режимних параметрів обладнання – технологічна перевірка якості операції та коригування налаштувань. Такий підхід не підміняє експериментальної оптимізації, але визначає вихідні дані, необхідні для її проведення.

Висновки. Фізико-механічні характеристики насіння промислових конопель доцільно враховувати диференційовано залежно від їхнього технологічного призначення. Геометричні показники необхідно

використовувати під час обґрунтування параметрів сортувальних і робочих органів. Масово-об'ємні характеристики мають важливе значення для розрахунку бункерів та дозувальних пристроїв. Фрикційні характеристики слід враховувати під час проектування транспортно-самопливних вузлів. Вологість є наскрізним чинником, контролюють за умов вибору параметрів обладнання. Остаточне визначення раціональних режимів потребує випробувань на конкретній партії сировини, особливо для процесу обрушування, де окремо оцінюють цілісність ядра.

Список використаних джерел

1. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Lytvynenko, A., Prymakov, O., Sheichenko, D., Samus, T., Shapoval, O. (2026). Improvement of the methodology for assessing the properties of industrial hemp seeds. Technology Audit and Production Reserves, 3 (3 (89)), 25–35. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.362477

2. Коноплі: монографія / за ред. М. Д. Мигаля, В. М. Кабанця. Суми: Еллада, 2011. 384 с.

3. Viktor Sheichenko, Dmytro Petrachenko, Denys Sheichenko, Vitaliy Shevchuk, Misha Shevchuk, Hardware and process flow scheme for integrated processing of industrial hemp seeds in small and medium-sized farms June 2026 Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of Ukraine Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute 1(38(52))DOI: 10.31473/2305-5987-2025-2-38(52)-11

4. Хайліс Г. А., Федорусь Ю. В. Механіка рослинних матеріалів. Луцьк, 2004. 302 с.

5. Saini P., Panghal A., Mittal V., Gupta R. Hemp seed (Cannabis sativa L.) bulk mass modeling based on engineering properties. Journal of Food Process Engineering. 2022. Vol. 45. DOI: 10.1111/jfpe.13929.

6. Taheri-Garavand A., Nassiri A., Gharibzahedi S. Physical and mechanical properties of hemp seed. International Agrophysics. 2012. Vol. 26, № 2. P. 211–215. DOI: 10.2478/v10247-012-0031-9.

7. ДСТУ 7695:2015. Насіння конопель. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 8 с.

УДК 621.867.133

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ СТРІЧКИ НА ДИНАМІКУ ВІДЦЕНТРОВО-ГРАВІТАЦІЙНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ НАСІННЯ В КОВШОВІЙ НОРІЇ НФ-1

Ступак Б. В., Бурлака О. А.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. У насіннєвих лініях ковшова норія повинна забезпечувати задану подачу та керований характер розвантаження. Зі зміною

швидкості стрічки змінюються інерційна складова, притискання насіння до робочої поверхні ковша і траєкторія потоку.

Аналіз останніх досліджень. У працях [1-3] розглянуто технологічні параметри ковшових норій, гравітаційно-відцентрове розвантаження та якість транспортування зерна; теоретичну основу силового аналізу становлять положення класичної механіки [4]. Для НФ-1 актуальним є зв'язок між швидкістю стрічки, силовим контактом і фактичним характером сходження насіння.

Мета досліджень. Встановити вплив швидкості стрічки на силову взаємодію насіннєвої порції з основною стінкою ковша НФ-1 та визначити раціональний режим розвантаження.

Результати досліджень. Теоретичний аналіз виконано для розрахункових швидкостей 0,64; 0,76 та 0,95 м/с. Інерційна складова визначається квадратом швидкості: $F_{ін} = m \cdot v^2/R$. Зі зростанням v сила $F_{ін}$ збільшується, а нормальна реакція $N_{ж}$ та сила тертя зменшуються. Умова $N_{ж} = 0$ використана як ознака втрати силового контакту з основною стінкою ковша.

Завершальну перевірку проведено на норії НФ-1 за фактичних швидкостей 0,67; 0,81 та 1,00 м/с. Для пшениці, сої, льону та соняшнику визначено $F_{ін.експ}$, $N_{ж.експ}$, Q і просип.

У прийнятій одноконтактній моделі на порцію діють сила тяжіння G, сила інерції $F_{ін}$, нормальна реакція $N_{ж}$ і сила тертя $F_{тр.ж}$. Зі збільшенням швидкості інерційна складова зростає, тому контакт з основною стінкою послаблюється і момент сходження зміщується.

Експериментальні дані підтвердили теоретичну тенденцію. Для всіх культур зі зростанням швидкості $N_{ж.експ}$ у фазі III зменшується, а мінімальний просип отримано за 0,81 м/с. Для пшениці при переході 0,67 → 1,00 м/с $F_{ін.експ}$ зростає 1,104 → 1,538 Н, тоді як $N_{ж.експ}$ зменшується 1,861 → 0,317 Н. За 0,81 м/с формується компактний спрямований потік; за 1,00 м/с потік стає віялоподібним, а частина насіння залишає ківш через стінку засипання.

Таблиця 1 – Узагальнені експериментальні показники норії НФ-1.Послідовність значень у клітинках: 0,67 / 0,81 / 1,00 м/с

Культура	$F_{ін.експ}$, Н	$N_{ж.експ}$ III, Н	Q, т/год	Просип, %
Пшениця	1,104 / 1,307 / 1,538	1,861 / 1,095 / 0,317	7,71 / 7,55 / 7,20	0,270 / 0,130 / 0,197
Соя	0,966 / 1,168 / 1,282	1,629 / 0,979 / 0,264	6,75 / 6,75 / 6,00	0,100 / 0,060 / 0,193
Льон	0,996 / 1,205 / 1,395	1,680 / 1,009 / 0,287	6,96 / 6,96 / 6,53	0,900 / 0,500 / 0,586
Соняшник	0,598 / 0,696 / 0,769	1,009 / 0,583 / 0,158	4,18 / 4,02 / 3,60	0,650 / 0,170 / 0,245

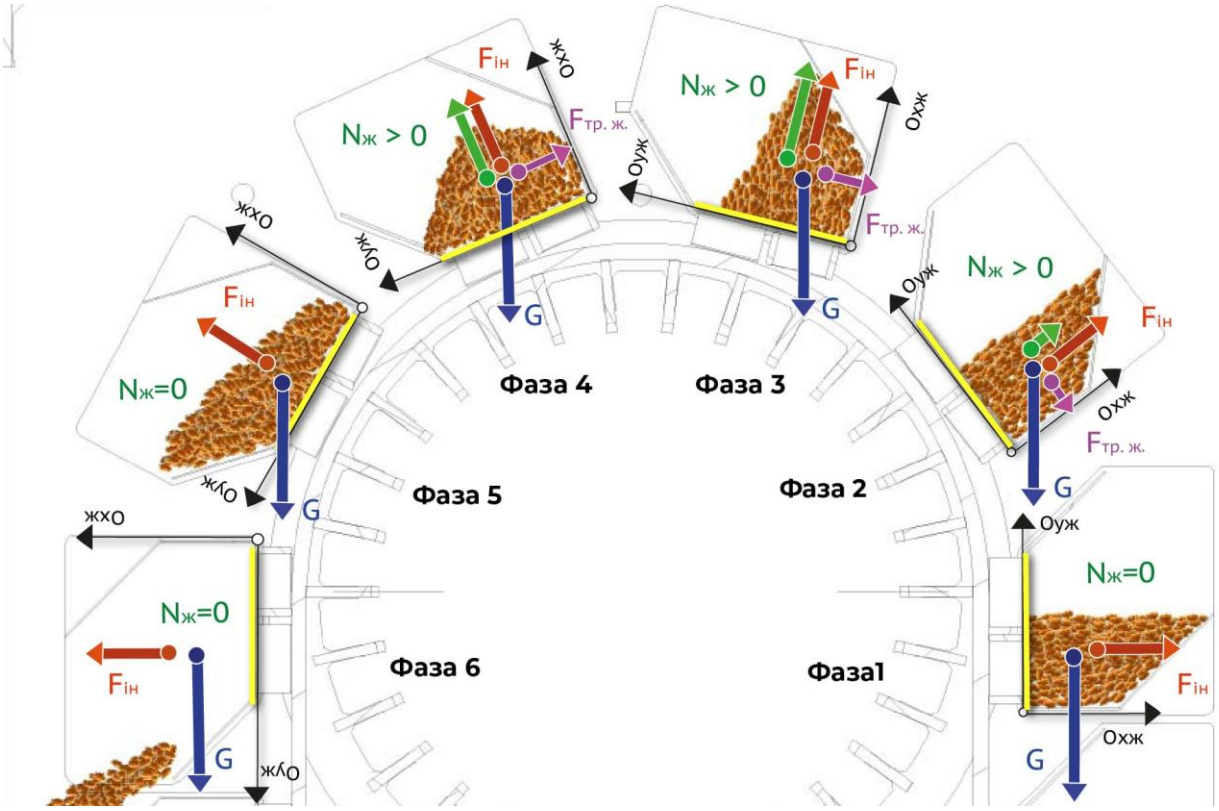


Рис. 1. Схема силової взаємодії насіннєвої порції
з основною стінкою ковша норії НФ-1 у фазах I–VI

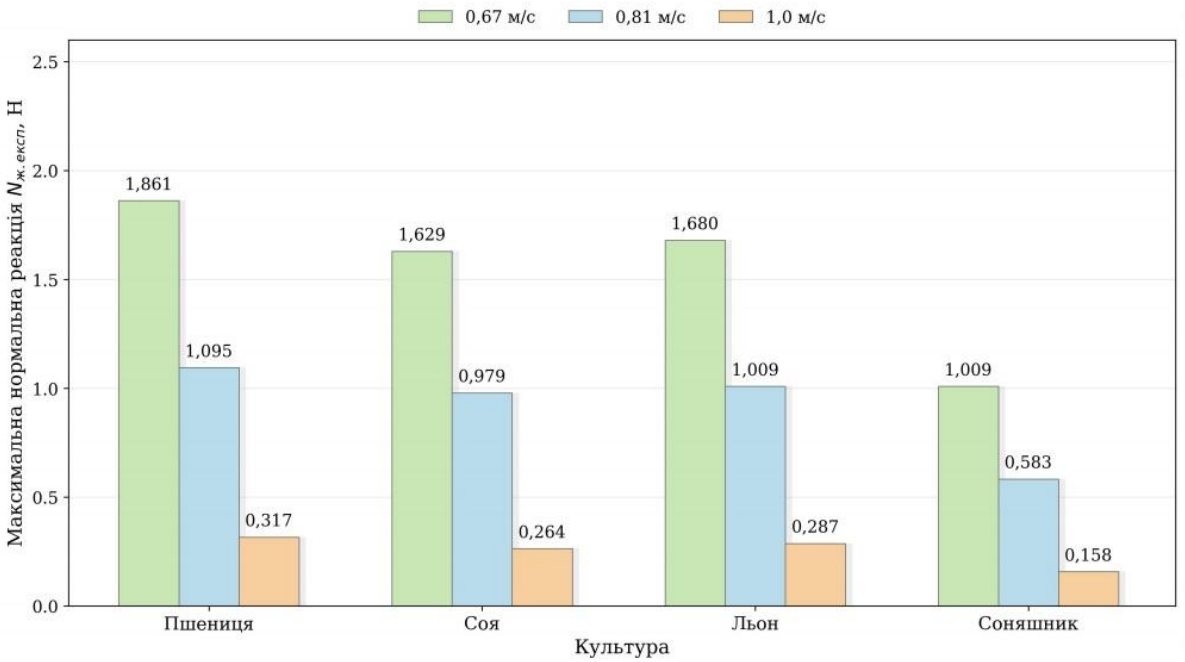


Рис. 2. Максимальна нормальна реакція $N_{ж.експ}$ у фазі III для досліджуваних культур



0,67 м/с 0,81 м/с 1,00 м/с

Рис. 3. Стоп-кадри повного сходження пшениці з ковша №5 за трьох швидкісних режимів

Висновки. Теоретично й експериментально підтверджено, що збільшення швидкості стрічки підсилює інерційну складову та послаблює силовий контакт насіння з основною стінкою ковша, змінюючи момент і траєкторію сходження. Нормальна реакція $N_{ж}$ може використовуватися як динамічний критерій тривалості контакту. Для норії НФ-1 у дослідженому діапазоні раціональною є швидкість 0,81 м/с, за якої формується компактний спрямований потік і отримано мінімальний просип для всіх чотирьох культур; режим 1,00 м/с має ознаки переходу до вираженого відцентрового розвантаження.

Список використаних джерел

1. Бурлака О. А., Ступак Б. В. Удосконалення технологічних параметрів зернової ковшової норії з гравітаційно-відцентровим розвантаженням. Теоретичні аспекти та експериментальні випробування // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2026. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.2.4.

2. Бурлака О. А., Ступак Б. В. Теоретико-механічний аналіз гравітаційно-відцентрового розвантаження насіння ковшем норії НФ-1 // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2026. DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.27-36.

3. Бурлака О. А., Проценко О. Ю. Підвищення якості транспортування та розвантаження зерна у вертикально розташованій ковшовій норії елеваторного обладнання // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2026. № 1(96). С. 17–24. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.1.2.

4. Павловський М. А., Путько В. В., Бондар В. М., Коловський В. М. Теоретична механіка. Київ : Техніка, 2004.

УДК 631.563.2

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО СУШІННЯ КВАСОЛІ

Цуркан О. В.
ВСП «Ладижинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Постановка проблеми. Квасоля звичайна (Phaseolus vulgaris L.) є важливою зернобобовою культурою, а ефективність її післязбиральної обробки безпосередньо визначає безпечність зберігання та технологічну якість бобів. Підвищена вологість після обмолоту створює ризики самозігрівання і мікробіологічного псування, тому боби необхідно доводити до безпечної для зберігання вологості. Водночас надмірна інтенсифікація процесу сушіння підвищує енерговитрати та ризик пошкодження оболонки й погіршення харчових та кормових властивостей.

Сушіння квасолі має переважно дифузійно-контрольований характер: зі зростанням температури дифузія вологи прискорюється, але внутрішній опір перенесенню залишається суттєвим [1]. Надмірне теплове навантаження може знижувати водопоглинання та погіршувати якість продукту [2]. Тому доцільно використовувати багатостадійний режим із помірною температурою та, за потреби, проміжним відлежуванням.

Аналіз останніх досліджень. Перспективою зниження питомих енерговитрат є використання інноваційних технологій, що поєднують керований теплопідвід, інтенсифікацію масообміну, рекуперацію теплоти та автоматизований контроль. Для післязбирального сушіння квасолі найбільш доцільно розглядати мікрохвильово-вакуумні, теплонасосні, гібридні сонячні, конвективні та комбіновані системи, у тому числі з вібраційною дією.

Мікрохвильове сушіння з вакуумуванням. Об’ємне мікрохвильове нагрівання у поєднанні зі зниженим тиском забезпечує нижчу температуру кипіння та прискорює внутрішнє випаровування вологи. Метод особливо перспективний на завершальній стадії, коли конвективне сушіння сповільнюється. Його ефективність підтверджена для харчової сировини, однак потрібен точний контроль потужності теплонагріваючих елементів, вакууму та температури [3]. Для квасолі доцільна комбінована схема: основне конвективне зневоложення та короткочасна мікрохвильово-вакуумна фінішна стадія.

Теплонасосні сушильні установки. Тепловий насос забезпечує утилізацію теплоти відпрацьованого повітря, його осушення та повторний підігрів. Це зменшує потребу в первинній тепловій енергії й дає змогу підтримувати низькотемпературний режим, сприятливий для квасолі. Ефективність теплонасосних схем залежить від рециркуляції сушильного агента та раціонального вибору енергетичних потоків [4]. Такі системи доцільно

використовувати для зневоложення бобів, де пріоритетом є збереження харчової або насіннєвої якості.

Гібридні сонячні сушарки. Використання сонячного повітряного колектора дозволяє частково замістити традиційні енергоносії, але нестабільність сонячної радіації потребує допоміжного джерела теплоти або акумулювання енергії. Гібридні системи з додатковим нагріванням забезпечують стабільніший режим роботи обладнання [5]. Для квасолі перевагу слід надавати непрямій схемі, в якій нагрівається сушильний агент, а допоміжне джерело автоматично вмикається при недостатній температурі або підвищеній відносній вологості повітря.

Конвективні та комбіновані сушарки з вібраційною дією. Конвективне сушіння залишається базовим через простоту і масштабованість обладнання, але його використання обмежують застійні зони та нерівномірний повітророзподіл. Періодична вібрація шару матеріалу оновлює поверхню контакту бобів із сушильним агентом, вирівнює тепло- і масообмін та зменшує локальне пересушування. Ефект віброконвеєрного сушіння підтверджено для спорідненої зернобобової сировини - сої [6]. Для квасолі вібрацію доцільно застосовувати періодично, контролюючи додаткові енерговитрати й механічне пошкодження оболонки.

Мета досліджень. Метою досліджень є зниження енергетичних затрат та отримання продукції нормативної якості при післязбиральному сушінні квасолі шляхом обгрунтування багатокритеріальної функції яка враховує енергетичні та якісні показники процесу сушіння.

Результати досліджень. Універсальної технології, оптимальної за всіма критеріями, не існує. Мікрохвильово-вакуумний спосіб забезпечує високу інтенсивність, теплонасосний - енергоощадне низькотемпературне сушіння, гібридний сонячний - заміщення частини традиційної енергії, а конвективно-вібраційний - підвищення рівномірності масообміну. Тому для вибору раціонального режиму запропоновано використовувати багатокритеріальну функцію, яка одночасно враховує питомі енерговитрати SEC, тривалість t, нерівномірність кінцевої вологості σW та інтегральний показник пошкодження якості Dq:

$$J = w1 \cdot SECa + w2 \cdot tb + w3 \cdot \Sigma wc + w4 \cdot Dqd \rightarrow \min \quad (1).$$

Вагові коефіцієнти w1…w4 задають пріоритети конкретного виробництва, $\sum wi=1$. Сума показників ступеня a,b,c,d також дорівнює одиниці. Для продовольчої квасолі Dq доцільно оцінювати за водопоглинанням, тривалістю варіння, часткою тріснутих бобів та кольором, для насіннєвої - також за схожістю. Вибір раціональної технології передбачає інтенсивніше початкове зневоложення, пом’якшення режиму або відлежування в середині процесу та енергоощадну завершальну стадію.

Висновки. Отже, сушіння квасолі слід оптимізувати за балансом енерговитрат, продуктивності, однорідності вологості та якості продукту. Перспективним є комбінований багатостадійний підхід з адаптацією джерела теплоти й інтенсифікації масообміну в залежності від стану матеріалу. Подальші

дослідження мають визначити енергетичні та якісні показники для районованих сортів та вагові коефіцієнти цільової функції.

Список використаних джерел

1. Resende O., Corrêa P. C., Jarén C., Moure A. J. Bean moisture diffusivity and drying kinetics. Spanish Journal of Agricultural Research. 2007. Vol. 5(1). P. 51–58.

2. Jian F., Jayas D. S., Fields P. G., White N. D. G. Water sorption and cooking time of red kidney beans. International Journal of Food Science & Technology. 2017. Vol. 52(9). P. 2031–2039. DOI: 10.1111/ijfs.13481.

3. González-Cavieres L., Pérez-Won M., Tabilo-Munizaga G. et al. Advances in vacuum microwave drying systems for food products. Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 116. P. 626–638. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.08.005.

4. Bezrodny M. K., Prytula N. O., Vovk V. V. Heat pump grain drying plants. Energy Technologies & Resource Saving. 2025. Vol. 83(2). P. 42–54. DOI: 10.33070/etars.2.2025.04.

5. Kong D., Wang Y., Li M., Liang J. A comprehensive review of hybrid solar dryers for agricultural products. Energy. 2024. Vol. 293. 130640. DOI: 10.1016/j.energy.2024.130640.

6. Malkina V., Kiurchev S., Hutsol T. et al. Optimization of parameters of a vibroconveyor system for infrared drying of soy. Agricultural Engineering. 2022. Vol. 26(1). P. 157–166. DOI: 10.2478/agriceng-2022-0013.

СЕКЦІЯ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА ТА ІНЖЕНЕРНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА»

УДК: 378.147:004.738.5:51+53

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН ЗДОБУВАЧАМИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Антонець А. В.

Полтавський державний аграрний університет

Сучасний етап цифрової трансформації освітнього процесу зумовлює потребу в удосконаленні та оновленні методичних підходів до викладання фізико-математичних дисциплін у закладах вищої освіти, особливо в контексті професійної підготовки здобувачів інженерно-технологічних спеціальностей.

Аналіз наукових досліджень останніх років засвідчує значний потенціал використання Інтернет-технологій для підвищення результативності навчання

фізико-математичних дисциплін. Водночас значна частина праць присвячена загальним аспектам застосування інформаційно-комунікаційних технологій, має загальноосвітню або STEM-спрямованість і лише частково враховує специфіку професійної підготовки фахівців інженерно-технічного профілю. Недостатня розробленість конкретних методичних підходів до використання Інтернет-технологій у процесі навчання фізико-математичних дисциплін майбутніх інженерів визначає актуальність подальшого наукового пошуку в цьому напрямі.

Ураховуючи зазначене, важливим є визначення методологічних засад використання Інтернет-технологій у процесі опанування фізико-математичних дисциплін здобувачами інженерно-технологічних спеціальностей. На початковому етапі навчання доцільно висвітлити загальні питання, пов’язані з програмним та інформаційним забезпеченням роботи в мережі Інтернет, а також розглянути можливості його практичного застосування відповідно до майбутньої професійної діяльності.

Під час вивчення математики та фізики майбутніх інженерів доцільно ознайомлювати з основними Інтернет-ресурсами відповідного спрямування. До таких ресурсів можна віднести вебсайти з теоретичними матеріалами з фізико-математичних дисциплін; спеціалізовані математичні та фізичні програмні комплекси, а також онлайн-калькулятори; інформаційні ресурси, присвячені особливостям використання математичних та інженерних програмних пакетів; електронні ресурси, що містять приклади розв’язування задач, практичні завдання та відповідні алгоритми їх виконання.

Лекційні матеріали з фізико-математичних дисциплін мають бути орієнтовані на формування у здобувачів усвідомлення можливостей застосування Інтернет-технологій під час опанування вищої математики та фізики. Зокрема, зміст лекцій доцільно спрямовувати на висвітлення способів використання мережевих освітніх ресурсів для засвоєння теоретичного матеріалу, пошуку й аналізу математичних моделей, фізичних законів і закономірностей, формул, графічних матеріалів, комп’ютерних симуляцій та наукових даних. Важливе місце також має посідати ознайомлення з принципами використання спеціалізованого програмного забезпечення та онлайн-платформ для розв’язування навчальних задач і здійснення обчислювальних експериментів.

Під час лекційних занять доцільно здійснювати систематизований огляд теоретичних положень теми, що вивчається. Основний навчальний матеріал кожної теми варто детально структурувати й розміщувати в електронному вигляді. Методика організації комп’ютерних лекційних занять передбачає самостійну роботу здобувача з електронним документом, який містить детально розроблений викладачем план заняття. Навчальний матеріал доцільно структурувати, для виокремлення ключових положень можуть застосовуватися різні види шрифтів, їхні розміри та кольорове оформлення.

Особливу увагу слід приділяти детальному розгляду прикладів розв’язування навчальних завдань, які можуть використовуватися здобувачами як орієнтир під час самостійної роботи. Уже на початкових етапах навчання

здобувачі набувають умінь аналізувати, редагувати й удосконалювати процес розв'язання задач, а також коректно оформлювати та представляти отримані результати. Такий підхід сприяє розвитку навичок, необхідних для майбутньої інженерної діяльності, формуванню інженерної культури та підвищенню якості виконання курсових робіт із фахових дисциплін.

Практичні заняття мають бути спрямовані на систематизацію знань, шляхом виконання типових і прикладних завдань із залученням Інтернет-ресурсів. Важливими складовими таких занять є виконання інтерактивних онлайн-завдань, проведення тестування та використання інших форм перевірки й оцінювання навчальних результатів здобувачів освіти. Така діяльність сприяє поглибленому засвоєнню навчального матеріалу, його систематизації, розвитку навичок самостійної роботи, а також формуванню позитивної мотивації до вивчення фізико-математичних дисциплін.

Важливим аспектом є організація практичних занять із фізико-математичних дисциплін у дистанційному та змішаному форматах із одночасним використанням активних методів навчання. Для забезпечення результативної роботи здобувачів в онлайн-середовищі викладачеві доцільно розробляти спеціальні методичні рекомендації. Такі матеріали мають містити послідовні алгоритми організації діяльності здобувачів під час проведення відеоконференцій. При цьому варто передбачати використання різноманітних форм активної взаємодії, що сприяють залученню здобувачів до освітнього процесу та підвищують ефективність дистанційного навчання. Наприклад, організація роботи здобувачів в парах та міні групах можлива з використанням у Zoom функції «Сесійні зали» або засобами Google Meet через функції «Дії» → «Сеанси підгруп». В обох вищезазначених сервісах для проведення відеоконференцій також зручно проводити «мозковий штурм» використовуючи можливості інтерактивної дошки (Whiteboard) з інтеграцією таких сервісів, як FigJam, Lucidspark, Miro або Mural де можна створювати стікери та схеми в реальному часі. У Google Meet можна створити спільні документи такі як Google Doc або Таблицю, де всі учасники зможуть одночасно записувати ідеї, а викладач бачити правки кожного. В процесі розв'язування вправ на практичних заняттях, студенти, користуючись запропонованими вказівками, можуть також отримати навички роботи з відповідними прикладними програмами, системами математики чи онлайн-калькуляторами, причому сюди повинні бути включені завдання різного рівня складності [1].

У зв'язку із скороченням аудиторних годин доцільно розробити окремі методичні вказівки та завдання для індивідуальної дистанційної роботи здобувачів, паралельно із заняттями в аудиторії. Під час самостійної роботи, студент виконує своє індивідуальне завдання за допомогою детального алгоритму представленого в наданих методичних вказівках. Проблеми і питання, що з'являються у нього, доцільно обговорювати онлайн за допомогою запланованих відеоконференцій, зокрема в Google Meet чи Zoom.

Лабораторні заняття з фізико-математичних дисциплін доцільно проводити у спеціалізованих аудиторіях, оснащених комп'ютерною технікою з доступом до мережі Інтернет. Підвищення ефективності навчання досягається за

умови організації роботи студентів у малих групах або парах за одним комп'ютером, що сприяє розвитку навичок колективного аналізу задач і взаємного навчання. Лабораторні заняття можуть проводитися як у підгрупах, так і з академічною групою загалом, що забезпечує інтенсифікацію навчального процесу та прискорене формування практичних умінь.

Для проведення лабораторних занять необхідно розробляти спеціалізовані завдання, які передбачають [2]: ознайомлення з профільними інтернет-ресурсами з вищої математики та фізики; опанування методів пошуку інформації (формул, теорем, фізичних законів, констант, графіків); відбір матеріалів для розв'язування задач і навчальних проєктів; аналіз і критичну оцінку інформації, отриманої з мережі Інтернет; підготовку презентацій з використанням результатів математичних обчислень і фізичних експериментів; використання навчальних платформ, хмарних обчислювальних середовищ, наукових баз даних та електронних бібліотек.

Поєднання традиційних і цифрових підходів у процесі вивчення фізико-математичних дисциплін сприяє формуванню в здобувачів цілісної системи знань і практичних навичок, необхідних для результативного застосування інтернет-технологій як у навчанні, так і в подальшій професійній діяльності.

Список використаних джерел

1. Антонець А., Прілєпо Н., Малиш О. Використання інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні природничо-наукових та агротехнічних дисциплін в умовах дистанційного навчання. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.* 2023. №1. С. 78–84. DOI: https://doi.org/10.31651/2524-2660-2023-1

2. Антонець А. Використання інтернет-технологій у процесі вивчення фізико-математичних дисциплін здобувачами інженерно-технологічних спеціальностей. *Ukrainian Professional Education = Українська професійна освіта*. 2026. 19. С. 129-142. DOI: https://doi.org/10.33989/2519-8254.2026.19.363693

УДК 378.147:004.8:631.3

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНО-ТЕРМІНОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ АГРОІНЖЕНЕРІЯ

Базилівська К. В.
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

Сучасний етап розвитку агропромислового виробництва характеризується інтенсивним упровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем управління, технологій точного землеробства, роботизованих комплексів,

Інтернету речей та штучного інтелекту. Це зумовлює трансформацію вимог до професійної підготовки фахівців з агроінженерії. Сучасний агроінженер повинен не лише володіти ґрунтовними інженерно-технічними знаннями, а й уміти працювати з цифровою інформацією, аналізувати технічну документацію, використовувати сучасні інформаційні системи та грамотно оперувати професійною термінологією.

Важливим складником професійної компетентності майбутнього агроінженера є професійно-термінологічна компетентність, яку доцільно розглядати як здатність здобувача освіти розуміти, правильно тлумачити й використовувати систему спеціальних понять і термінів у навчальній, науковій та майбутній професійній діяльності. Вона забезпечує ефективну професійну комунікацію, роботу з нормативно-технічною документацією, науковими публікаціями, інструкціями з експлуатації машин і обладнання, цифровими системами та іншими інформаційними джерелами.

Одним із перспективних інструментів удосконалення цього напряму підготовки є генеративний штучний інтелект (Generative Artificial Intelligence, GenAI). До генеративних систем належать великі мовні моделі та створені на їх основі інтелектуальні помічники, здатні генерувати тексти, пояснювати поняття, систематизувати інформацію, здійснювати переклад, формувати завдання, аналізувати текстові матеріали та підтримувати діалог із користувачем. UNESCO наголошує, що генеративний штучний інтелект може використовуватися для підтримки навчання та досліджень за умови людиноцентричного, етичного та педагогічно обґрунтованого підходу [1].

Особливий потенціал генеративного штучного інтелекту в підготовці здобувачів освіти зі спеціальності «Агроінженерія» пов'язаний із можливістю організації інтерактивної роботи з фаховою термінологією. Система штучного інтелекту може виступати своєрідним інтелектуальним консультантом, який на запит здобувача освіти пояснює значення певного терміна, демонструє контекст його використання, встановлює взаємозв'язки між поняттями та допомагає зіставляти українську й англомовну термінологію.

Наприклад, під час вивчення дисциплін, пов'язаних із сільськогосподарськими машинами, експлуатацією машинно-тракторного парку, технічним сервісом, точним землеробством, автоматизацією аграрного виробництва, здобувачам можна запропонувати за допомогою генеративного штучного інтелекту сформувати та проаналізувати тематичний глосарій понять: машинно-тракторний агрегат, тяговий опір, продуктивність агрегату, коефіцієнт буксування, питомі витрати палива, технічне діагностування, змінна норма внесення, диференційоване внесення, система глобального позиціонування, телеметрія, цифрова карта поля, автопілотування, комп'ютерний зір тощо.

Ефективним є завдання, за якого здобувач освіти отримує від системи штучного інтелекту декілька визначень одного поняття, порівнює їх із нормативною, навчальною або науковою літературою, визначає найбільш точне формулювання та обґрунтовує свій вибір. Таким чином генеративний ШІ використовується не як джерело готової відповіді, а як засіб розвитку критичного

мислення, інформаційної грамотності та здатності перевіряти професійно значущу інформацію.

Важливим напрямом є формування англомовної професійної термінології. Значна частина програмного забезпечення сучасних сільськогосподарських машин, наукової літератури, технічної документації та інформаційних ресурсів провідних виробників техніки представлена англійською мовою. Генеративний штучний інтелект дозволяє створювати двомовні термінологічні словники, добирати контекстуальні приклади, пояснювати відмінності між близькими за змістом поняттями та моделювати професійні діалоги. Такий підхід сприяє не механічному запам'ятовуванню термінів, а їх усвідомленому використанню в конкретних професійних ситуаціях.

Доцільним є застосування генеративного штучного інтелекту під час виконання комплексу професійно орієнтованих завдань, зокрема: створення тематичних словників і глосаріїв із фахових дисциплін; пояснення складних технічних понять на різних рівнях складності; класифікація термінів за технологічними процесами, видами машин та обладнання; пошук українських і англійських відповідників професійних термінів; побудова понятєвих та логіко-семантичних зв'язків між термінами; аналіз фрагментів технічної документації та інструкцій; складання професійно орієнтованих тестових завдань; моделювання виробничих ситуацій, у яких необхідно правильно використовувати спеціальну термінологію; виявлення та виправлення термінологічних помилок у технічних текстах; підготовка коротких технічних описів машин, механізмів і технологічних процесів.

Наприклад, здобувачу освіти можна запропонувати сформувати за допомогою ШІ опис технологічного процесу сівби, збирання зернових культур або технічного обслуговування трактора з обов'язковим використанням визначеного переліку професійних термінів. Наступним етапом є самостійна перевірка точності використання термінів, аналіз технічної коректності сформованого тексту та його редагування. Це створює умови для поєднання термінологічної, інженерної та цифрової підготовки.

Застосування генеративного ШІ також сприяє персоналізації навчання. Здобувач може отримувати завдання відповідно до власного рівня підготовки, повторно опрацьовувати незрозумілі терміни, просити систему навести додаткові приклади або представити складне поняття у вигляді порівняння, алгоритму чи таблиці. Дослідження використання великих мовних моделей в інженерній освіті свідчать про розширення можливостей їх застосування для пояснення матеріалу, забезпечення зворотного зв'язку та підтримки навчальної діяльності студентів [3].

Використання таких технологій відповідає й загальній тенденції розвитку цифрових компетентностей здобувачів освіти. Розроблена UNESCO рамка компетентностей у сфері штучного інтелекту акцентує увагу не лише на здатності використовувати інструменти ШІ, а й на критичному оцінюванні їх результатів, етичній взаємодії з ними та переході від простого використання до створення нового контенту й вирішення практичних завдань [2, 3].

Водночас використання генеративного штучного інтелекту має супроводжуватися усвідомленням певних ризиків. Мовні моделі можуть генерувати фактично або термінологічно некоректну інформацію, використовувати неточні переклади спеціальних понять, формувати неіснуючі джерела або надмірно спрощувати складні інженерні процеси. Саме тому викладач повинен орієнтувати здобувачів на обов'язкову верифікацію одержаних результатів із використанням підручників, стандартів, наукових публікацій, технічної документації та інших надійних джерел. Не менш важливим є дотримання принципів академічної доброчесності. Використання ШІ повинно бути спрямоване на підтримку інтелектуальної діяльності здобувача, а не на її заміщення. У систематичних дослідженнях застосування ChatGPT та інших генеративних моделей у вищій освіті серед ключових завдань називають розвиток саморегульованого навчання, відповідального використання технологій та адаптацію системи оцінювання до нових умов [4, 5].

Отже, генеративний штучний інтелект відкриває значні можливості для модернізації професійної підготовки майбутніх агроінженерів. Його цілеспрямоване застосування дозволяє урізноманітнити форми роботи з фаховою лексикою, забезпечити інтерактивність та індивідуалізацію навчання, розвивати навички опрацювання української й англомовної професійної термінології, формувати здатність до критичного аналізу інформації.

Список використаних джерел

1. Miao F., Holmes W. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO, 2023.
2. Miao F., Shiohira K., Lao N. AI Competency Framework for Students. Paris: UNESCO, 2024. DOI: 10.54675/JKJB9835.
3. Lyu W., Wang Y., Chung T., Sun Y., Zhang Y. Large Language Models (LLMs) in Engineering Education: A Systematic Review and Suggestions for Practical Adoption. Information. 2024. Vol. 15, No. 6. Art. 345. DOI: 10.3390/info15060345.
4. Albadarin Y., Saqr M., Pope N., Tukiainen M. A systematic literature review of empirical research on ChatGPT in education. Discover Education. 2024. Vol. 3. Art. 60. DOI: 10.1007/s44217-024-00138-2.
5. Xia Q., Weng X., Ouyang F., Lin T. J., Chiu T. K. F. A scoping review on how generative artificial intelligence transforms assessment in higher education. International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2024. Vol. 21. Art. 40. DOI: 10.1186/s41239-024-00468-z.

УДК 378.4:631.1

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДГОТОВКИ АГРАРНИХ ФАХІВЦІВ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ

Войтюк Д. Г., Волянський М. С.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Сталий розвиток аграрного виробництва в Україні неможливий без якісної підготовки спеціалістів, здатних інтегрувати сучасні технології, екологічні стандарти та інноваційні методи управління. Система аграрної освіти стикається з низкою викликів: невідповідність навчальних програм сучасним вимогам, недостатня практична підготовка, слабка інтеграція науки й виробництва, обмежене використання цифрових технологій [11; 12].

Аналіз останніх досліджень. У працях зарубіжних авторів [1–10] підкреслюється важливість інноваційних технологій у сільському господарстві та необхідність підготовки кадрів, здатних працювати з гідромеханічними трансмісіями, системами точного землеробства, цифровими платформами управління. Вітчизняні дослідження [11–16] акцентують увагу на проблемах реформування аграрної освіти, інноваційному забезпеченні сталого розвитку та екологічних аспектах аграрного виробництва.

Мета досліджень. Метою є визначення ключових проблем у підготовці аграрних спеціалістів та розробка пропозицій щодо вдосконалення освітніх програм для забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва в Україні.

Результати досліджень. *Виявлені проблеми:*
- невідповідність навчальних планів сучасним технологічним викликам;
- недостатня практична підготовка студентів;
- слабка інтеграція університетів із виробничими підприємствами;
- обмежене використання цифрових технологій у навчальному процесі.

Запропоновані напрями вдосконалення:
- оновлення навчальних програм із врахуванням сучасних досліджень [5; 6; 9];
- впровадження дуальної освіти та партнерства з аграрними компаніями [11; 12];
- розвиток цифрових компетентностей [8; 10];
- інтеграція екологічних стандартів у підготовку фахівців [15; 16].

Практичні результати:
- створення методичних матеріалів для студентів агроінженерії;
- використання сучасних досліджень у навчальному процесі [7; 14];
- формування компетентностей у сфері енергоефективності та сталого розвитку.

Підготовка аграрних спеціалістів має ґрунтуватися на інтеграції науки, освіти та

Висновки. Підготовка аграрних спеціалістів для сталого розвитку аграрного виробництва в Україні потребує системних змін: модернізації освітніх програм, інтеграції освіти, науки й виробництва, розвитку цифрових та екологічних компетентностей та передбачати:

- розвиток технологій точного землеробства та біотехнологій;
- модернізацію навчальних планів із практичними та цифровими модулями;
- створення навчально-наукових полігонів і виробничих баз для апробації інновацій

Лише за умови комплексного підходу можливо забезпечити конкурентоспроможність українського аграрного сектору на світовому ринку.

Список використаних джерел

1. Macor, A., Rossetti, A. Optimization of hydro-mechanical power split transmissions. *Mechanism and Machine Theory*. 2011, 46(12), 1901–1919. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2011.07.007

2. Rossetti, A., Macor, A. Multi-objective optimization of hydro-mechanical power split transmissions. *Mechanism and Machine Theory*. 2013, 62, 112–128. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2012.11.009

3. Farkas, Z., Kerényi, G. Power flows and efficiency analysis of out- and input coupled IVT. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2009, 53(2), 61–68. DOI: 10.3311/pp.me.2009-2.02

4. Wang, G., Song, Y., Wang, J., et al. Shift quality of tractors fitted with hydrostatic power split CVT during starting. *Biosystems Engineering*. 2020, 196, 183–201. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.06.001

5. Zhao, Y., et al. Energy consumption analysis of 2Z-X(B) planetary input-coupled hydro-mechanical tractor transmission. *Applied Sciences*. 2025, 15(23), 12576. DOI: 10.3390/app152312576

6. Song, Y., Jin, Y., Kong, Y., Zhao, Y., Yin, T., Wang, G. Analysis of traction performance for 180 HP continuously variable transmission tractor. *Applied Sciences*. 2026, 16(14), 6979. DOI: 10.3390/app16146979

7. Marani, P., Chiarabelli, D., Gessi, S., Martelli, M. Design of power-split hydrostatic CVT agricultural transmission for enhanced control and efficiency. *JFPS Int. Journal of Fluid Power System*. 2025, 18(1), 29–36. DOI: 10.5739/jfpsij.18.29

8. Bi-level iterative-driven dynamic matching design for power reflux hydro-mechanical transmission system. *Energy*. 2026, 360, 141779. DOI: 10.1016/j.energy.2026.141779

9. Coordinated dual-rolling control of shifting in HMCVT based on KF-MPC algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024, 227, 109561. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109561

10. Energy-efficient path tracking control for autonomous tractors equipped with hydro-mechanical CVT. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2026, 252, 112115. DOI: 10.1016/j.compag.2026.112115

11. Ніколаєнко, С. М., Ніколаєнко, М. С. Аграрна освіта в контексті реформування вищої школи України: сучасні виклики та тенденції. *Вісник НАПН України*. 2021, 3(2), 1–12. DOI: 10.37472/2707-305X-2021-3-2-17-3

12. Ніколаєнко, С. М., Ніколаєнко, М. С. Вища аграрна освіта в Україні: виклики часу. *Вісник аграрної науки*. 2021, Т.99, №12, 5–17. DOI: 10.31073/agrovisnyk202112-01

13. Ткач, Л. Л., Дендебера, О. П. Стан інноваційного забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва. *Вісник Університету «Україна»*. 2023, №8(35), 97–117. DOI: 10.36994/2707-4110-2023-8-35-10

14. Балишев, М. Розвиток рільничої механіки в Україні у контексті історичної динаміки аграрних інновацій. *Вісник науки та освіти*. 2025, №6(36), 1600–1620. DOI: 10.52058/2786-6165-2025-6(36)-1600-1620

15. Гриник, І., Володін, С. Українська аграрна наука: виклики та пріоритети. *Вісник аграрної науки*. 2026, Т.104, №1, 5–19. DOI: 10.31073/agrovisnyk202601

УДК 378.6:631.3(477)

ЕВОЛЮЦІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ СКЛАДОВОЇ АГРАРНОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ: ВІД МЕХАНІЗАЦІЇ ДО ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Горюнов Б.О.
Полтавський державний аграрний університет

Розвиток аграрного виробництва безпосередньо пов'язаний із рівнем професійної підготовки інженерних кадрів. Протягом XX – початку XXI ст. зміст агроінженерної освіти суттєво трансформувався відповідно до змін технічного оснащення сільського господарства. Якщо на початкових етапах основним завданням була підготовка фахівців з експлуатації, ремонту та обслуговування механічних засобів виробництва, то сучасний агроінженер повинен володіти знаннями у сфері автоматизації, електроніки, супутникової навігації, інформаційних систем та цифрового управління технологічними процесами. Сучасний етап розвитку аграрного сектору характеризується поширенням точного землеробства, автоматизованих систем керування машинами, телематики, дистанційного зондування, безпілотних технологій та елементів штучного інтелекту. Це зумовлює необхідність подальшої трансформації інженерної підготовки та поєднання традиційних фундаментальних знань із цифровими компетентностями.

Історія розвитку аграрної освіти свідчить, що зміст підготовки фахівців формувався під безпосереднім впливом технологічних змін у сільськогосподарському виробництві. Масове впровадження тракторів, автомобілів, комбайнів та стаціонарного технологічного обладнання сприяло формуванню спеціалізованої інженерної підготовки, орієнтованої на механізацію виробничих процесів.

На сучасному етапі характер технологічних змін суттєво ускладнюється. Концепція Agriculture 4.0 передбачає інтеграцію фізичних машин із цифровими системами, сенсорами, мережами передавання даних і програмними засобами управління [1]. Точне землеробство, своєю чергою, базується на використанні просторово прив'язаних даних для диференційованого виконання технологічних

операцій [2]. Відповідно, змінюється і перелік компетентностей, необхідних сучасному агроінженеру.

Розвиток інженерної підготовки фахівців аграрного профілю доцільно розглядати у взаємозв'язку з основними етапами технічного розвитку сільського господарства. На етапі становлення механізованого виробництва основна увага приділялася конструкції та експлуатації тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин, технології механізованих робіт, ремонту та технічному обслуговуванню машинно-тракторного парку.

Подальше ускладнення сільськогосподарської техніки сприяло розширенню інженерної підготовки. До традиційних механічних дисциплін поступово додавалися електротехніка, гідравлічні та пневматичні системи, автоматизація технологічних процесів, основи електроніки та комп'ютерної діагностики. Від інженера почали вимагати не лише знання механічної будови машини, а й розуміння взаємодії її механічних, гідравлічних, електричних та електронних систем.

Наступний етап пов'язаний із поширенням технологій точного землеробства. Використання GNSS-навігації, GIS, автоматичного водіння, картографування врожайності та диференційованого внесення технологічних матеріалів суттєво розширило професійні функції агроінженера. Сучасний фахівець повинен розуміти принципи роботи супутникових систем позиціонування, уміти працювати з цифровими картами та даними польових машин, налаштовувати електронні системи керування агрегатами.

Важливим напрямом трансформації агроінженерної освіти є підготовка до роботи з телематичними системами. Сучасна сільськогосподарська машина є не лише механічним засобом виконання технологічної операції, а й джерелом значного обсягу інформації. Бортові контролери можуть реєструвати параметри двигуна, витрату пального, швидкість руху, продуктивність, місцеположення та інші показники. Тому для ефективного машиновикористання інженеру необхідно вміти аналізувати цифрові дані та використовувати їх для прийняття технічних і управлінських рішень.

Окремою тенденцією є розвиток роботизованої та автономної сільськогосподарської техніки. Її поширення посилює значення знань із сенсорних систем, машинного зору, автоматичного керування та штучного інтелекту. При цьому традиційні інженерні дисципліни не втрачають актуальності, оскільки цифрові технології функціонують у безпосередньому зв'язку з механічними робочими органами, приводами та технологічними процесами.

Таким чином, сучасна агроінженерна освіта повинна розвиватися за принципом інтеграції. Доцільним є не механічне збільшення кількості інформаційних дисциплін, а включення цифрових технологій у професійно орієнтовані курси. Наприклад, вивчення сільськогосподарських машин може доповнюватися аналізом електронних систем їх керування, дисципліни з машиновикористання – роботою з телематичними платформами та GNSS, а технічний сервіс – засобами комп'ютерної діагностики.

Практична підготовка також потребує відповідної трансформації. Перспективним є використання навчальних GNSS-систем, електронних тренажерів, програмних симуляторів, цифрових карт полів та реальних виробничих даних. Це дозволяє формувати компетентності, наближені до сучасних умов експлуатації техніки, навіть за обмежених можливостей постійного оновлення матеріально-технічної бази закладу освіти.

Еволюція інженерної складової аграрної освіти відображає загальний розвиток технічних засобів сільськогосподарського виробництва: від механізації окремих операцій до створення цифрових і частково автономних виробничих систем. Сучасна підготовка агроінженера повинна поєднувати фундаментальні знання з механіки, конструкції та експлуатації машин із компетентностями у сфері GNSS, автоматизації, телематики, електронної діагностики та аналізу даних. Перспективним напрямом є інтеграція цифрових технологій безпосередньо у професійні інженерні дисципліни, що дозволить забезпечити відповідність підготовки фахівців сучасному рівню технологічного розвитку агропромислового виробництва.

Список використаних джерел

1. Rose D. C., Chilvers J. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2018. Vol. 2. Article 87. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00087.

2. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. *Science*. 2010. Vol. 327, No. 5967. P. 828–831. DOI: 10.1126/science.1183899.

3. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. P. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

4. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. Vol. 90–91. Article 100315. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

УДК 378.147:004.4

ВИКОРИСТАННЯ CAD-СИСТЕМ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Джеджула О. М.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасна модернізація агропромислового виробництва супроводжується активним упровадженням цифрових технологій, автоматизованих виробничих комплексів, роботизованих систем, засобів тривимірного моделювання та цифрового проєктування. За таких умов професійна підготовка майбутніх фахівців аграрної галузі має забезпечувати не

лише засвоєння теоретичних знань, а й формування здатності використовувати цифрові інструменти для розв'язання професійних завдань.

Особливого значення набувають системи автоматизованого проєктування (CAD), які використовуються для створення, редагування та аналізу конструкторської документації, дво- і тривимірних моделей, технологічних схем, деталей, механізмів та виробничих об'єктів. Для майбутніх фахівців агропромислового виробництва CAD-середовища є важливим засобом поєднання графічної, математичної, технологічної та професійної підготовки.

Не зважаючи на актуальність використання CAD-систем у навчальному процесі аграрних університеті, залишаються остаточно не вирішеними проблеми дидактичних умов та методик переходу від навчання окремих команд і функцій CAD-програм до формування комплексної цифрової компетентності, за якої студент здатний самостійно проаналізувати професійну ситуацію, побудувати модель, створити технічну документацію та використати отриманий результат для вирішення виробничого завдання.

Аналіз останніх досліджень. Проблематика використання CAD у професійній та інженерній освіті активно досліджується українськими науковцями. Так, Вовк Б., Царенко Р. висвітлюють питання формування цифрової компетентності майбутніх аграріїв у контексті цифровізації рослинництва [1]. Козяр М.М. досліджує графічну підготовку студентів засобами САПР [2]. Доведено, що CAD-технології сприяють розвитку просторової візуалізації, технічного мислення та здатності студентів працювати з інженерною графікою. Зокрема, дослідження впливу CAD-навчання на просторові вміння студентів засвідчило позитивний педагогічний ефект використання відповідного програмного забезпечення [1]. Сучасні дослідження зарубіжних науковців акцентують увагу на необхідності оновлення методики викладання CAD: традиційне засвоєння команд доцільно доповнювати проблемно-орієнтованим навчанням, інтерактивним самоконтролем і практичними проєктними завданнями [3, 5].

Актуальним є також використання CAD у дистанційному та змішаному навчанні, що передбачає створення цифрових навчальних ресурсів, відеоінструкцій, інтерактивних завдань і можливостей для самостійного проєктування [4]. Новітні дослідження наголошують на необхідності інтеграції 3D-моделювання, віртуальної взаємодії та сучасних цифрових технологій у підготовку майбутніх інженерів [6]. Водночас специфіка використання CAD-систем саме для професійної підготовки фахівців агропромислового виробництва потребує подальшого методичного обґрунтування.

Мета досліджень полягає в теоретичному обґрунтуванні та визначенні педагогічних можливостей використання CAD-систем у професійній підготовці майбутніх фахівців агропромислового виробництва, зокрема для формування графічної, цифрової та професійної компетентностей.

Результати досліджень. Використання CAD-систем у професійній підготовці майбутніх фахівців агропромислового виробництва доцільно розглядати не як окремий елемент комп'ютерної грамотності, а як інтегрований

компонент професійної підготовки. Його зміст має бути пов'язаний із реальними об'єктами та технологічними процесами аграрного виробництва.

Ефективною є послідовність формування CAD-компетентності, яка включає такі етапи: аналіз професійної задачі, побудова графічної моделі, створення 2D- або 3D-моделі, оформлення технічної документації, аналіз отриманого результату, його коригування та презентація. Такий підхід забезпечує перехід від репродуктивного виконання навчальних вправ до самостійної проєктної діяльності.

На заняттях з інженерної та комп'ютерної графіки доцільно використовувати професійно орієнтовані завдання: моделювання деталей сільськогосподарської техніки, елементів технологічних ліній, конструкцій обладнання, робочих органів машин, просторових схем виробничих процесів. Наприклад, студент може отримати завдання створити цифрову модель окремого механізму або технологічного вузла, визначити його геометричні параметри, виконати креслення та підготувати комплект технічної документації.

Важливим результатом є формування здатності студента читати професійну графічну інформацію та трансформувати її в цифрову модель. При цьому CAD-середовище створює умови для розвитку просторового мислення, точності, алгоритмічності, творчості та навичок вирішення проблем. Дослідження сучасних методик CAD-навчання підтверджують, що проблемно-орієнтовані завдання та інтерактивні засоби самоконтролю можуть підвищувати результативність навчання і мотивацію студентів [7].

Особливу педагогічну цінність має використання реальних професійних об'єктів замість абстрактних геометричних вправ. Для студентів аграрних спеціальностей це дає можливість безпосередньо пов'язати інженерну графіку з майбутньою професійною діяльністю. Наприклад, замість виконання ізольованого креслення деталі доцільно запропонувати її проєктування як складника конкретної машини або технологічної лінії.

Перспективним є поєднання CAD із іншими цифровими технологіями: системами автоматизованого інженерного аналізу, 3D-друком, цифровими моделями виробничих процесів, віртуальними лабораторіями та хмарними сервісами. Така інтеграція відповідає сучасним тенденціям розвитку інженерної освіти, у якій CAD розглядається як складова ширшого цифрового середовища проєктування [4].

Для оцінювання результатів CAD-підготовки доцільно використовувати не лише перевірку правильності креслення, а комплекс критеріїв: правильність геометричної побудови; дотримання стандартів технічної документації; логічність алгоритму проєктування; точність виконання; самостійність; здатність аргументувати прийняте конструктивне рішення; можливість використання моделі для подальших професійних завдань.

Таким чином, CAD-системи створюють педагогічні умови для інтеграції знань з математики, фізики, інженерної графіки, механіки та технології виробництва. Їх використання сприяє переходу від предметно-орієнтованого до компетентнісного навчання, оскільки студент не просто опановує програмний інструмент, а використовує його для розв'язання професійної задачі.

Висновки. Використання CAD-систем є важливим напрямом цифровізації професійної підготовки майбутніх фахівців агропромислового виробництва. Їх педагогічний потенціал полягає у формуванні графічної та цифрової компетентностей, розвитку просторового й технічного мислення, підвищенні самостійності та здатності до проєктної діяльності.

Найбільш результативним є професійно орієнтоване використання CAD, за якого навчальні завдання моделюють реальні виробничі ситуації. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням цифрових навчально-методичних комплексів, системи критеріїв оцінювання CAD-компетентності та методики інтеграції CAD із 3D-моделюванням, віртуальними лабораторіями й іншими цифровими технологіями професійної освіти.

Список використаних джерел

1. Вовк Б., Царенко Р. Формування цифрової компетентності майбутніх аграріїв у контексті цифровізації рослинництва. Молодь і ринок. 2026. DOI: 10.24919/2308-4634.2026.365535

2. Козяр М. М., Сасюк З., Парфенюк О. Графічна підготовка майбутнього фахівця засобами САПР. Нова педагогічна думка. 2018. № 2 (94). С. 122–126.

3. Dagman A., Wärmefjord K. An Evidence-Based Study on Teaching Computer Aided Design in Higher Education during the COVID-19 Pandemic. Education Sciences. 2022. Vol. 12, No. 1. Article 29. DOI: 10.3390/educsci12010029.

4. DaMaren E., Consell R., Grygué A., Koenig C., Olechowski A., Rosales J. An Educator's Framework for Modern Computer-Aided Design Instruction. Proceedings of the Canadian Engineering Education Association. 2025. DOI: 10.24908/pceea.2025.19633.

5. Kösa T., Karakuş F. The effects of computer-aided design software on engineering students' spatial visualisation skills. European Journal of Engineering Education. 2018. Vol. 43, No. 2. P. 296–308. DOI: 10.1080/03043797.2017.1370578.

6. Murillo Manrique M. F., Sánchez Ayte J. A. A systematic review on innovations in computer aided design in engineering education. International Journal of Evaluation and Research in Education. 2025. Vol. 14, No. 3. DOI: 10.11591/ijere.v14i3.30250.

7. Pando Cerra P., Fernández Álvarez H., Busto Parra B., Castaño Busón S. Boosting computer-aided design pedagogy using interactive self-assessment graphical tools. Computer Applications in Engineering Education. 2023. Vol. 31. P. 26–46. DOI: 10.1002/cae.22569.

РОЛЬ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА» В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Дударь Н. І.
Полтавський державний аграрний університет

Фізика є фундаментальною основою для підготовки висококваліфікованих інженерів агропромислового комплексу (АПК). Вона пов'язує теоретичні знання з їхнім практичним застосуванням у сучасному високотехнологічному сільському господарстві. Останнім часом розрізняють чотири ключові напрями ролі цієї дисципліни в інженерній агропідготовці.

Першим ключовим напрямом є робота з агротехнікою та механізація. Розглядаючи розділи механіки та кінематики основну увагу приділяють законам класичної механіки, що лежать в основі проєктування, експлуатації та ремонту сільськогосподарських машин (комбайнів, сівалок, тракторів).

Знання динаміки допомагають розраховувати тягові зусилля, оптимізувати витрату палива та зменшувати тиск техніки на ґрунт. Знання розділу термодинаміки дає здобувачам вищої освіти розуміння термодинамічних процесів, що є обов'язковим для обслуговування двигунів внутрішнього згоряння, холодильних установок та сушильних комплексів для зерна.

Розглядаючи другий ключовий напрямок – автоматизацію, енергетику та Smart Farming, значна увага приділяється вивченню розділу електрика та магнетизм. Сучасне агровиробництво повністю електрифіковано. В своїй роботі інженери використовують знання з електродинаміки для проєктування систем енергопостачання, обслуговування електродвигунів та забезпечення блискавкозахисту об'єктів агропромислового комплексу.

Спираючись на знання отримані при вивченні розділу електроніка та оптика майбутні фахівці володіють інформацією про впровадження точного землеробства (Smart Farming), систем GPS – навігації, безпілотників (дронів) та оптичних датчиків оцінки стиглості плодів чи стану рослин, що базується на законах фотоніки, оптики та напівпровідникової фізики.

Ознайомлюючись з третім ключовим напрямком – гідравліка та меліорація, здобувачі вищої освіти детально розглядають розділи гідродинаміка та аеродинаміка.

Отримані знання з розрахунку руху рідин і газів необхідні для проектування ефективних систем зрошення (крапельного поливу), осушення ґрунтів, а також вентиляції тваринницьких комплексів і теплиць.

Четвертий ключовий напрямок – біофізичні процеси в агрономії. Розділ молекулярної фізики дає знання про поверхневий натяг, капілярні явища та дифузію, що допомагають інженерам створювати ефективні обприскувачі для внесення добрив і засобів захисту рослин, контролюючи розмір крапель та їх утримання на листі.

Вивчаючи розділ тепломасообмін здобувачі вищої отримують знання про фізичні моделі випаровування та теплопровідності використовуються для

прогнозовано промерзання або перегріву ґрунту, а також для розробки технологій тривалого зберігання овочів та зерна.

Теоретична фізика vs-інженерне застосування а АПК

Розділ фізики	Що вивчає здобувач вищої освіти	Де це застосовує агроінженер
Механіка	Закон Ньютона, тертя, крутний момент	Налаштування плугів, розрахунок міцності деталей машин, робота трансмісії
Термодинаміка	Теплові процеси, ККД, фазові переходи	Експлуатація зерносушарок, теплових насосів, вентиляції теплиць
Оптика та хвилі	Спектри світла, випромінювання, лазери	Налаштування фотосепараторів зерна, супутниковий моніторинг полів.
Електродинаміка	Сила струму, магнітне поле, індукція	Обслуговування генераторів, систем автоматизованого доїння та годівлі

Список використаних джерел

1. Король А.М., Андріяшик М.В. Фізика. Механіка, молекулярна фізика і термодинаміка, електрика і магнетизм, Оптика, Елементи квантової механіки, фізики атома, атомного ядра і елементарних частинок: підручник для студентів вищих технічних закладів. К. Фірма «Інкос», 2006. 344 с.
2. Лопатинський І.Є., Зачек І.Р., Кравчук І.М., Романишин Б.М. Курс фізики: підручник, Львів: Афіша, 2003, 375 с.

УДК 378.147:004.9:631.3

ЦИНФРОВІЗАЦІЯ ТА STEM-ОСВІТА В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Канівець І. М., Канівець О. В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сьогодні агропромисловий комплекс стрімко оновлює свою матеріальну базу та технологічні процеси. Концепції AgTech та Agriculture 4.0 вимагають від сучасних інженерів аграрної сфери виходу за межі стандартної механіки. Фахівець має вміти опрацьовувати масиви даних, управляти безпілотними літальними апаратами, застосовувати геоінформаційні системи та інтегрувати датчики Інтернету речей. Тому STEM-підхід (Science, Technology, Engineering, Mathematics) слугує надійною основою для формування професійних компетенцій інженера нового формату.

Аналіз останніх досліджень. Проблематика переходу аграрної освіти на стандарти цифрової економіки та концепції «Сільське господарство 4.0» активно розглядається вітчизняними й закордонними фахівцями. Теоретичні та методологічні основи підготовки інженерів аграрного профілю, а також шляхи оновлення навчальних планів досліджували В. Кравчук, С. Пастушенко, М. Жирко, О. Мельник і В. Дмитрієв. Питання інтеграції точного землеробства, цифрових платформ та інструментів Інтернету речей у навчальний процес розкриті в наукових працях В. Ярошенка, А. Кузьминського, Пастушенко С. І., Мельника О. В. та В. Адамчука [1-3].

Міжнародний досвід впровадження STEM-концепцій, симуляційних методів та процесів цифровізації в аграрному машинобудуванні розглядають у своїх працях Дж. Ньюман (J. Newman), М. Сантос (M. Santos) та Р. Мюллер (R. Müller). На думку дослідників, сучасний фахівець агроінженерного профілю повинен володіти комплексом міждисциплінарних компетенцій на межі класичної механіки, інформаційних технологій та агрономії. Автори зазначають, що STEM-підхід дає змогу зміщувати акценти з пасивного запам’ятовування теорії на практично орієнтоване навчання. Водночас у публікаціях акцентується на об’єктивному технологічному розриві між матеріальною базою вищих навчальних закладів та технічним оснащенням передових агропідприємств, що зумовлює гостру потребу в інтеграції новітнього програмного забезпечення та цифрового обладнання в освітній простір [4; 5].

Метою цього дослідження є визначення перспективних напрямів удосконалення професійної підготовки майбутніх інженерів для агропромислового комплексу за допомогою впровадження STEM-методологій та сучасних цифрових інструментів у навчальний процес.

Процес цифровізації аграрної галузі трансформує функції інженера, переводячи його від банального нагляду за механічними вузлами до ролі аналітика й оператора складних інфраструктурних мереж. Щоб сформувати необхідні професійні навички, система підготовки кадрів має спиратися на три фундаментальні складові:

1) Міждисциплінарний STEM-підхід та 3D-моделювання: інтеграція базових наук із практичним програмуванням і комп’ютерним конструюванням.

Приклад: На заняттях із навчальних дисциплін «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання» і «Деталі машин» студенти використовують сучасні CAD-системи (наприклад, Autodesk Fusion 360, SolidWorks), щоб створювати цифрові двійники (Digital Twins) робочих елементів сільськогосподарських машин. Такий підхід дає можливість випробовувати навантаження на робочі органи дискових борін або культиваторів у віртуальному середовищі до створення реального прототипу [3].

2) Впровадження елементів точного землеробства та телеметричних систем у практичні заняття: освоєння технологій автопілотування, диференційованого внесення матеріалів і дистанційного нагляду за допомогою профільних програмних продуктів.

Приклад: Практичне застосування управлінських програм для агробізнесу (Cropwise Operations, Climate FieldView, FarmWorks) при підготовці курсових

робіт. Студенти набувають навичок формування карт завдань для диференційованого внесення добрив (VRA) та налаштування бортових терміналів (наприклад, Trimble GFX-750, John Deere Gen 4) із залученням протоколу ISOBUS (ISO 11783), що гарантує повну сумісність енергетичних засобів із навісними чи причіпними модулями різних брендів [1].Застосування БПЛА, сенсорики та ІОТ: практична робота з засобами дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та агродронами.

Приклад: У рамках лабораторних робіт здобувачі вищої освіти обробляють дані з мультиспектральних камер (на кшталт DJI Mavic 3 Multispectral) у спеціалізованому ПЗ (Pix4Dfields, Agisoft Metashape). Вони розраховують вегетаційні індекси (NDVI, NDRE) для виявлення проблемних ділянок поля та локалізації зональних обробок. Також відпрацьовуються навички роботи з датчиками вологості ґрунту й метеостанціями (наприклад, iMETOS), які передають дані через бездротові мережі LoRaWAN [2].

3. Застосування віртуальної реальності (VR) та інтерактивних симуляторів: використання спеціалізованих програмних середовищ для мінімізації витрат палива й усунення ризиків пошкодження складних машин на початкових етапах навчання.

Приклад: Інтеграція віртуальних тренажерів та симуляторів зернозбиральних комбайнів або польових обприскувачів, яка надає студентам змогу відпрацьовувати правильні алгоритми регулювання та перевірки агрегатів безпосередньо в аудиторних умовах [1].

Висновки. Інтеграція STEM-освіти та цифрових інструментів у навчальні програми для агропромислового сектору дозволяє успішно нівелювати розрив між фундаментальною теоретичною підготовкою та практичними запитами сучасного агробізнесу. Кінцевим ефектом такої модернізації стає випуск кваліфікованого інженера, який вільно оперує ресурсозберігаючими інноваціями та здатний ефективно координувати високотехнологічні виробничі процеси.

Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Кравчук В. І., Грицишин М. І. Інноваційні техніко-технологічні рішення та цифровізація процесів у точному землеробстві. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування техніки і технологій для сільського господарства України. 2021. Вип. 28 (42). С. 15-24.

2. Пастушенко С. І., Мельник О. В. Формування професійних компетентностей майбутніх агроінженерів в умовах цифровізації АПК. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2021. Вип. 11, т. 2. С. 45-53.

3. Ярошенко В. М., Кузьминський А. І. Застосування STEM-технологій та цифрових платформ у процесі підготовки фахівців аграрного профілю. Інноваційна педагогіка. 2022. Вип. 44, т. 2. С. 112-117.

4. Newman J., Santos M., Müller R. Integration of Precision Agriculture and IoT Infrastructure in Modern Agricultural Engineering Curricula. Journal of Agricultural Education and Extension. 2021. Vol. 27 (3). P. 305-321.

5. Müller R., Santos M. Digital Twin and Simulation-Based Learning in Agricultural Machinery Engineering Education. Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 205. Art. 107612.

УДК 658.512.2:628.477.6

DESIGN CONCEPT IN THE ENGINEERING OF EQUIPMENT FOR SUNFLOWER WASTE PROCESSING

Kudriavtsev I.M., Kudriavtsev M.I., Melnyk S.M.
Dnipro State Agrarian and Economic University

Innovation in the food, light, and hospitality industries–as well as in fashion, design, and mechanical engineering–is becoming a battleground for thousands of companies worldwide.

Technological breakthroughs, including artificial intelligence (AI), robotics, and others, must be embraced and understood, and young people need to be prepared in a timely manner for the disruptive challenges of the future.

Rapid pace and intense competition are hallmarks of the new technological paradigm. Who can offer a new product? Who will be the first to win customer recognition? Manufacturers across the world are competing to achieve this.

In what direction will technological development unfold in the coming years, and what breakthrough innovations await us in the future? According to the classification of technological paradigms [1] in the context of modern economic development, the global community is in a growth phase characterized by the advancement of nanotechnology, solar and nuclear energy, and the creation of a global information space. A society becomes an "information society" when the creation of a global information space–alongside the economic dominance of new technological paradigms driven by the widespread use of information and communication technologies and the growth of the information and knowledge market–leads to an enhanced level of professional and general cultural development.

Artistic design is a powerful lever in the competitive landscape of fashion designers and agricultural sorting machine manufacturers alike; this tool should be readily available to future professionals. The specifics of artistic design are reflected in the CRediT (Contributor Roles Taxonomy) standard [2], an international standard that defines the creative contributions of scientists to scientific research. However, certain areas of scientific research are categorized as "Creatives" and are listed in the ORCID database. Designer competencies are also considered creative. Through the ORCID integration API [3], designer competencies become more transparent to grantors and employers, as their actual competencies are immediately visible.

The ability to think in multifaceted and broad terms, to anticipate how an object will function in the real world, and to preserve the integrity of the original concept–ensuring the functional justification of every design element–demands immense dedication and commitment from the designer [4].

It is crucial to recognize that in the age of consumerism, products must–among other aspects–meet requirements regarding functionality, high quality standards, economic viability, distinctiveness, and brand identity.



Fig. Sorting machine SS-002-05

Functional performance remains the primary factor for users when selecting sorting equipment; however, when technical specifications are comparable, buyers prefer machines that emphasize modern design and ergonomics in their aesthetic and structural execution. Consequently, industrial design serves as a powerful tool for manufacturers of sorting machinery in a competitive market. One of the projects undertaken by DSAEU postgraduate students involved an impurity analyzer for sunflower seed mixtures–the SS-002-05 sorting machine (Fig.). To achieve the project's objective, the design required, first and foremost, structural justification and the determination of optimal functionality [5].

The authors decided that the form of the object as a whole–and/or the forms of its individual parts–should demonstrate the object's strength and reveal its internal nature, including the structure of the seed mixture and its inner essence, while making its "inner world" accessible to the operator. Cubism offered the most suitable approach for realizing this creative vision. Cubism was intended to be an art form that, in the words of Pablo Picasso, represents the world not as the artist sees it, but as the artist conceives it.

The sculptural conception of the piece was based on the principles of Alexandra Exter–an apostle of Ukrainian Cubo-Futurism [6]. After all, while Cubism–at the "analytical" stage of its development–deconstructed objects into geometric shapes, it ultimately strove for structural integrity and architectonics. Futurism, by contrast, is defined by a remarkable dynamism that shatters structure. Movement, speed, energy–Futurism pays homage to the modern machine, viewing it as the embodiment of an aesthetic ideal. Yet, it was Ukrainian avant-garde artists who–despite a stronger affinity for Cubism–united under the banner of Cubo-Futurism. By breaking free from the direct imitation of nature, they gained the liberty to interpret the world in their own way.

The designers interpreted the object’s formal composition in a unique way (Fig.). Movement and speed are vividly reflected in the design of the sorting channel. A viewing port makes watching the dynamic sorting process particularly engaging–creating the illusion that the operator is inside an aircraft–while a display offers a glimpse into the analyzer’s inner workings.

The design developed by the postgraduate students for the research object has been duly recognized. Patents for both a utility model and an industrial design have

been granted for the sorting machine's technical and design solution [7, 8]. The SS-002-05 machine was demonstrated for the first time in Kazakhstan at the "KazAgroFarm-2026" exhibition.

Conclusions. Industrial design serves as a powerful tool for maintaining competitiveness among manufacturers of sorting machines.

Incorporating industrial design into the training of future specialists fosters personal development and self-actualization in alignment with educational standards.

A criterion of commercial significance has been proposed for the integrated assessment of a designer's level of competence.

An industrial design solution for a grain sorting machine has been developed; the intellectual property associated with it has been granted utility model and industrial design patents.

References

1. Баймухаметов А. Інформаційно-комунікативні технології у епоху цифровізації. Інноваційний развиток харчової, легкої промисловості та індустрії гостинності : Матеріали міжн. наук.-практ. конф., м. Алмати, 22–23 жов. 2020 р. Алмати, 2020. С. 199–201. URL: http://www.conference-atu.kz/?id=6 (date of access: 03.10.2025).

2. CRediT roles and example research tasks that could be attributed to them / H. Mohammad et al. Zenodo. URL: https://zenodo.org/records/18421449 (date of access: 23.09.2026).

3. Про нас ORCID. ORCID. URL: https://info.orcid.org/ru/what-is-orcid/ (date of access: 03.10.2026).

4. Бакит Д., Алданаєва А. A Dialogue with the Work of Leading Fashion Designers. Innovative development of food, light and hospitality industry : Proceedings of international scientific and practical conference, Almaty, 22–23 oct. 2020. Almaty, 2020. P. 141–144. URL: http://www.conference-atu.kz/?id=6 (date of access: 03.10.2026).

5. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва : підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 340 с.

6. Екстер Олександра Олександрівна. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/Екстер_Олександра. (дата обращения: 28.06.2026).

7. Аналізатор домішок у суміші зерна : пат. 48362 Україна : 15-03. № s 2025 00716 ; заявл. 08.09.2025 ; опубл. 08.04.2026, Бюл. № 14. 6 с.

8. Адаптивний аналізатор домішок у суміші зерна з програмованими параметрами : пат. 158445 Україна : A01F 12/44, B07B 4/02, B07B 9/02, B07B 7/00. № u 2023 03879 ; заявл. 14.08.2023 ; опубл. 12.02.2025, Бюл. № 7. 6 с.

УДК: 377:631.1:005.336.2

КОМПЕТЕНТНІСНО ОРІЄНТОВАНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Курепін В. М.
Миколаївський національний аграрний університет

Розвиток агропромислового виробництва супроводжується впровадженням автоматизованих систем управління, інноваційних методів управління та ресурсозберігальних виробничих рішень. За таких умов зростає потреба у фахівцях, здатних ефективно працювати з новітнім обладнанням, аналізувати виробничі процеси та адаптуватися до технологічних змін. Це зумовлює необхідність удосконалення професійної освіти на засадах компетентнісного підходу, орієнтованого на формування практичних умінь, цифрової грамотності, критичного мислення та готовності до інноваційної діяльності.

Проблематика компетентнісно орієнтованої професійної освіти полягає в модернізації освітнього процесу, розвитку практичної підготовки здобувачів вищої освіти та забезпечення професійних компетентностей. У сучасних наукових дослідженнях Мельник Н. С. [1], Сиворотка Н. М. [5], Іваненко В. С. [2] особлива увага зосереджується на забезпеченні інтеграції теоретичної підготовки з практичною діяльністю, упровадженні цифрових освітніх технологій, проєктно-орієнтованих методик навчання. З огляду на технологічну трансформацію агропромислового виробництва актуалізується дослідження механізмів формування цифрових, виробничо-технологічних, екологічних і підприємницьких компетентностей майбутніх фахівців.

Метою нашого дослідження є обґрунтування особливостей компетентнісно орієнтованої підготовки фахівців для інноваційного розвитку агропромислового виробництва та визначення основних напрямів удосконалення професійної освіти відповідно до сучасних потреб аграрного сектору. Досягнення поставленої мети передбачає визначення ключових професійних компетентностей майбутніх фахівців для посилення практичної спрямованості професійної підготовки.

Активне впровадження цифрових технологій, автоматизованих систем управління та ресурсозберігальних технологічних рішень зумовлює підвищення вимог до професійної підготовки фахівців. Особливого значення набуває формування комплексу професійних компетентностей [1, с 108], які забезпечують здатність ефективно виконувати виробничі завдання, застосовувати сучасні технології, здійснювати аналіз технологічних процесів та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Професійна освіта має орієнтуватися на інтеграцію фундаментальних знань із практичною підготовкою, розширення співпраці з агропромисловими підприємствами та впровадження інноваційних освітніх методик. Це сприятиме

підготовці конкурентоспроможних фахівців, здатних забезпечувати технологічне оновлення й сталий розвиток аграрного сектору.

Компетентнісний підхід є одним із ключових методологічних засад модернізації професійної освіти. Він передбачає орієнтацію освітнього процесу на формування здатності здобувачів вищої освіти ефективно застосовувати набуті знання, уміння та навички для розв'язання практичних і виробничих завдань. На відміну від звичайної моделі навчання, компетентнісний підхід забезпечує інтеграцію теоретичної підготовки з практичною діяльністю [2, с 597], розвиток самостійності, критичного мислення, готовності до професійної самореалізації.

Реалізація компетентнісного підходу відбувається через зміст професійної освіти, упровадження практико-орієнтованих методів навчання, моделювання виробничих ситуацій, залучення здобувачів освіти до практичної взаємодії з підприємствами. Важливо формувати інтегровані компетентності, що охоплюють технологічну підготовленість, цифрову грамотність, здатність працювати в команді та адаптуватися до інноваційних змін.

Оцінювання результатів навчання це не лише перевірка засвоєних знань, а й визначення здатності застосовувати їх у професійних ситуаціях. Трансформація освітнього процесу повинна сприяти підвищенню якості підготовки фахівців, посиленню їхньої конкурентоспроможності на ринку праці.

Інструменти модернізації професійної освіти передбачають використання цифрових освітніх платформ, інтерактивних симуляторів, віртуальних лабораторій, мультимедійних засобів навчання та технологій моделювання виробничих процесів. Застосування таких інструментів сприяє розвитку аналітичного мислення та формуванню здатності працювати з сучасними технологічними системами [3, с 64].

Практико-орієнтоване навчання забезпечує безпосередній зв'язок між теоретичними знаннями та майбутньою професійною діяльністю [4, с 332], створюючи умови для формування стійких практичних умінь та навичок. Його реалізація передбачає проведення лабораторних та практичних зайняття, виконання навчально-виробничих проєктів, аналіз професійних ситуацій, проходження виробничої практики та співпрацю з підприємствами агропромислового комплексу.

Моделювання реальних виробничих завдань дає змогу здобувачам вищої освіти набувати досвіду прийняття технологічних рішень, оцінювати виробничі ризики [5, с 297]. Підвищення якості професійної освіти, адаптація випускників до вимог роботодавців відбувається за рахунок поєднання інноваційних освітніх технологій із практичною підготовкою.

Удосконалення професійної підготовки фахівців передбачає оновлення змісту освітніх програм відповідно до технологічних тенденцій, потреб роботодавців і перспектив інноваційного розвитку агропромислового виробництва. Пріоритетними напрямами є посилення практичної складової навчання, розвиток дуальної освіти [6, с 4] та розширення співпраці закладів вищої освіти з аграрними підприємствами. Реалізація зазначених заходів сприятиме формуванню конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно

застосовувати професійні компетентності, адаптуватися до технологічних змін і забезпечувати сталий розвиток аграрного сектору України.

Отже, компетентнісно орієнтована підготовка фахівців є важливою передумовою модернізації професійного освіти та забезпечення кадрових потреб інноваційного агропромислового виробництва. Поєднання цифрових освітніх технологій, практико-орієнтованого навчання та тісної взаємодії закладів освіти з роботодавцями сприятиме формуванню професійних компетентностей, необхідних для ефективної діяльності в умовах технологічних змін. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні та впровадженні освітніх моделей, орієнтованих на актуальні потреби аграрного сектору, розвитку цифрових навичок та підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців.

Список використаних джерел

1. Мельник Н. С. Навчання через практику: проблемні ситуації у сучасній освіті. Інформаційні технології в освіті та науці: збірник наукових праць V міжнародної науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 21 травня 2026 р.). Запоріжжя : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2026. С 105-109. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26359.

2. Іваненко В. С. Шляхи виживання та розвитку українського бізнесу під час воєнного стану. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С 595-598. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22542.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

4. Іваненко В. С. Інструментарій стратегічного управління персоналом у сільському господарстві. Глокалізаційні аспекти інноваційного розвитку економіки: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (м. Одеса, 16 жовтня 2025 р.). Одеса : ОНЕУ, 2025. С 332-334. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22739.

5. Сиворотка Н. М. Партнерство Миколаївського національного аграрного університету та бізнесу на прикладі компанії MZURI. Інноваційно-інвестиційний розвиток бізнесу в умовах економічних збурень : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених до 210-ліття Львівської політехніки (м. Львів, 26-27 березня 2026 р.). Львів : Львівська політехніка, 2026. С. 295-298. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24800.

6. Batsurovska I., Kurepin V. The Impact of the War in Ukraine on the Study Results at an Agricultural University // Tréma. 2023. № 60. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15314.

УДК 378.147

СТУДЕНТОЦЕНТРОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ АГРОІНЖЕНЕРІВ

Новицька Л. І.
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасне високотехнологічне аграрне виробництво потребує кваліфікованих кадрів, здатних до інноваційної та продуктивної діяльності. Водночас підготовка майбутніх агроінженерів супроводжується низкою суперечностей: між соціальними потребами підвищення якості освіти й уніфікованими навчальними програмами; між теоретичними знаннями та практичними вимогами професії; між зростаючим обсягом необхідних знань і обмеженою кількістю навчальних годин. Діяльність агроінженерів охоплює розробку, експлуатацію, обслуговування та управління сучасною технікою і технологіями, тож традиційна система професійної підготовки потребує трансформації.

Аналіз останніх досліджень. Провідні фахівці аграрної освіти [1] підкреслюють, що недостатня увага до фундаментальних дисциплін на початкових етапах навчання ускладнює засвоєння теоретичних основ спеціальних дисциплін, зокрема теорії сільськогосподарських машин, тракторів і двигунів тощо. Аграрні заклади вищої освіти не забезпечують належних умов для ґрунтовної практичної підготовки інженерів-механіків сільського господарства. Випускники мають не лише здобувати якісну університетську освіту, а й отримувати можливість набуття практичних навичок, необхідних для ефективного застосування знань у професійній діяльності.

Реформи вищої освіти дедалі більше орієнтуються на європейські стандарти студентоцентрованого навчання, а також на методологічні підходи, апробовані в підготовці агроінженерів за кордоном, зокрема інтегративний і проблемно-аналітичний практикоорієнтований підходи [2].

У Вінницькому національному аграрному університеті (ВНАУ) партнерство із науково-виробничими структурами розглядається як механізм переходу аграрного виробництва до інноваційної моделі розвитку, що отримало підтримку стейкхолдерів інженерно-технологічного факультету.

Пандемія COVID-19 та воєнний стан в Україні зробили змішане навчання фактично єдиною альтернативою традиційній організації освітнього процесу.

Метою дослідження є розробка технології змішаного навчання, спрямованої на студентоцентровану модель підготовки майбутніх агроінженерів у ВНАУ на базі науково-навчально-виробничого комплексу (ННВК) «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум».

Результати досліджень. Студентоцентрований підхід означає перехід від орієнтації на процес викладання до орієнтації на результат навчання й формування компетентностей студента. Його ключові ознаки: активне, а не

пасивне засвоєння знань; глибоке розуміння матеріалу; підвищена відповідальність і автономність студента; співпраця та взаємна повага між викладачем і студентом; рефлексивний підхід до навчання з обох сторін. Функціонування дистанційного навчання, дуальної форми здобуття освіти та індивідуальної освітньої траєкторії у ВНАУ регулюється відповідними положеннями університету [3, 4].

Проведений аналіз дав змогу сформулювати гіпотезу: ефективна підготовка фахівців у межах ННВК можлива завдяки технології змішаного навчання з елементами дуальної освіти, що інтегрує аудиторні заняття з дистанційними формами. Обґрунтовано доцільність ротаційної моделі змішаного навчання, яка передбачає гнучкий, нелінійний перехід між лекціями, практичними заняттями, консультаціями, роботою над науковими проєктами та наставництвом фахівців науково-дослідних господарств, забезпечуючи персоналізоване поєднання дистанційного й очного навчання відповідно до потреб студентів.

Ефективність проєктування студентоцентрованої освіти за технологією змішаного навчання забезпечується за таких умов: системна індивідуалізація, диференціація та творча активність студентів; орієнтація навчання на особистісний розвиток; інтеграція фундаментальних і спеціальних знань, виробничої практики та наукових досліджень на основі професійної спрямованості підготовки. Розроблена модель студентоцентрованої технології змішаного навчання на прикладі дисципліни «Вища математика» має нелінійну, причинно-наслідкову структуру та включає цільовий, змістовий, методико-технологічний, контрольно-корегувальний, а також аналітико-прогностичний компоненти; системотвірним чинником виступає цільовий компонент – перехід до компетентнісної моделі особистісно орієнтованої підготовки.

Науково-дидактичний комплекс дисципліни «Вища математика» розроблено з урахуванням стандартів освіти, освітньо-професійних програм, напрямів виробничої діяльності випускників і відгуків стейкхолдерів; дотримано принципів актуальності, інформаційної насиченості, цілісності, систематичності, модульності, гнучкості та варіативності змісту.

Комплекс включає програму й робочу програму дисципліни, дистанційний курс відео-лекцій і відео-практичних занять, презентації, конспект лекцій, електронний посібник «Вища математика», методичні рекомендації для практичних занять і самостійної роботи, матеріали для електронної дошки Miro, а також інформаційні ресурси (картку дисципліни, електронний журнал, репозиторій у системі «Сократ», тестові завдання). Особливістю комплексу є ретельно підібраний ілюстративний матеріал: кожна абстрактна теоретична тема доповнюється прикладною, професійно орієнтованою інтерпретацією. Для практики та наукових досліджень студенти інженерно-технологічного факультету використовують також посібник «Математична статистика» і довідник «Кореляційно-регресійний аналіз у Mathcad».

Технологію змішаного навчання дисципліни «Вища математика» для освітньо-професійної програми «Агроінженерія» реалізовано через такі

організаційні етапи: 1) оцінювання рівня знань і навичок студентів (аудиторний формат: диференційовані завдання, анкетування, співбесіда); 2) розроблення індивідуальної траєкторії навчання з урахуванням диференціації, індивідуалізації та інтеграції; 3) керування пізнавальною діяльністю студентів, що охоплює вступне заняття (ознайомлення з розкладом, ресурсами системи «Сократ», сервісами Zoom, Google Meet, дошкою Miro, месенджерами Telegram і Viber, основами Mathcad), лекційні та практичні заняття (аудиторно), кероване асинхронне самонавчання за матеріалами «Сократ» (дистанційно), колективне синхронне навчання за принципом «перевернутого класу», індивідуальні та групові консультації викладача, самостійні консультації студентів, проєктну діяльність на основі кейс-технологій, проміжний контроль; 4) проміжну рефлексію (самоконтроль, самоаналіз); 5) коригування індивідуальної траєкторії; 6) адаптивне управління навчальним процесом; 7) підсумковий контроль (аудиторно) [5].

Висновки. Високотехнологічне аграрне виробництво потребує трансформації підготовки агроінженерів у напрямі інтеграції теоретичних знань із практичним досвідом та цифровими технологіями. Технологія змішаного навчання з елементами дуальної освіти, що поєднує переваги аудиторного й дистанційного форматів, є ефективним засобом такої підготовки в межах ННВК. Студентоцентрований підхід має стати основою проєктування освітнього середовища, зорієнтованого не лише на засвоєння й застосування знань, а й на розвиток критичного мислення, комунікативних навичок і здатності до самонавчання.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Булгаков В.М. Стан та основні перспективи підготовки висококваліфікованих інженерних та наукових кадрів в галузі агроінженерії. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 1(96). С. 5-15.

2. Вощевська О.В. Професійна підготовка інженерів-аграрників в системі вищої освіти США: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: 13.00.04 . Тернопіль. 2008. 20 с.

3. Положення про здобуття вищої освіти за дуальною формою навчання / Вінницький національний аграрний університет. URL: https://vsau.org/assets/images/content/dokPDF/polozhennya%20-pro-dualnu-formu-navchannya.pdf (дата звернення: 20.09.2026).

4. Положення про порядок формування власної траєкторії навчання студентів Вінницького національного аграрного університету. / Вінницький національний аграрний університет. URL: https://vsau.org/assets/images/content/dokPDF/pologennua/TP.pdf (дата звернення: 20.09.2026).

5. Новицька, Л.І. (2025). Подолання викликів у математичній підготовці майбутніх агроінженерів в умовах змішаного навчання. Академічні візії, (41). URL: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1826 (дата звернення: 21.09.2026).

УДК 378.147:631.115.8

МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ IoT ТА БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ

Овсієнко Ю. І., Рижкова Т. Ю.
Полтавський державний аграрний університет

Національна економічна стратегія на період до 2030 року визначає пріоритетом цифрову трансформацію АПК через впровадження точного землеробства, IoT та UAS. У Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки наголошено на необхідності адаптації освітнього процесу до формування у студентів необхідних цифрових компетентностей [3, 4]. Відповідно до вимог Закону України «Про вищу освіту», заклади вищої освіти (ЗВО) мають забезпечувати підготовку конкурентоспроможних фахівців, чиї компетентності відповідають викликам ринку праці та технологічним зрушенням [2]. У зазначеному контексті виникає актуальна науково-педагогічна проблема: необхідність своєчасної перебудови освітнього процесу й оновлення змісту підготовки фахівців (наприклад, агрономів, агроінженерів) для роботи в умовах новітніх, прогресивних форм господарювання, де традиційні концепції організації навально-виховного процесу органічно доповнюються сучасними цифровими інструментами.

Питання цифровізації АПК, впровадження технологій точного землеробства і використання методів обчислювального інтелекту активно досліджуються у сучасній науковій літературі вітчизняних і зарубіжних вчених [1], [5]. Проте аналіз науково-методичної літератури свідчить, що питання міждисциплінарної інтеграції і спільної проєктної підготовки фахівців у сфері IoT та UAS, у відповідь на новітні державні стратегії, залишається недостатньо висвітленим. Більшість існуючих методик фокусуються або на ізольованому вивченні технічних характеристик і правил експлуатації БАС, або на теоретичних основах точного землеробства без практичної складової апаратного забезпечення й міждисциплінарної взаємодії.

Метою дослідження є обґрунтування організаційно-педагогічних і методичних підходів до формування готовності студентів спеціальностей H1 «Агрономія» і H7 «Агроінженерія» до професійної діяльності у сфері точного землеробства, IoT та UAS. Досягнення мети потребує розробки трикомпонентної моделі, що базується на міждисциплінарній інтеграції освітніх компонентів, впровадженні спільного проєктного навчання, створенні навчально-виробничих полігонів у відповідь на виклики цифрової трансформації.

Для реалізації відповідних запитів аграрного сектору, запропоновано трикомпонентну модель професійної підготовки. Модель, побудована на основі

класичної дидактичної тріади: від змісту через форми/методи до засобів навчання.

Змістова компонента запропонованої моделі формує диференційований, але взаємодоповнюваний перелік професійних умінь і навичок, необхідних для роботи в умовах смарт-ферм. Змістова компонента підготовки фахівців з агрономії передбачає вміння планувати моніторинг стану посівів засобами UAS, роботу з GIS-системами і картами завдань, інтерпретацію вегетаційних індексів для прийняття рішень щодо диференційного внесення добрив (NDVI, NDRE). Інженерна змістова компонента формує навички калібрування сенсорів та IoT-пристроїв, налаштування CAN-шин сільськогосподарської техніки, технічного обслуговування UAS і побудови локальних мереж передачі даних на території ферми (LoRaWAN).

Організаційно-методична компонента реалізує форми й методи навчання та першочергово націлена на впровадження міждисциплінарних проєктних модулів у форматі вибіркових освітніх компонент. Наприклад, під час виконання навчального кейсу «Моніторинг вологості ґрунту» доцільним є об'єднання здобувачів вищої освіти у команди змішаного складу за спеціальностями для виконання практичних завдань: майбутні інженери монтують і налаштовують IoT-датчики вологості, передають дані на хмарний сервер, майбутні фахівці з агрономії, отримавши дані в реальному часі, розраховують оптимальні терміни й норми поливу. Зазначений підхід формує розуміння взаємовпливу технічних рішень на біологічні процеси, і навпаки. Організація навчального процесу із урахуванням цієї компоненти є критично важливою складовою прогресивних форм сучасного ефективного господарювання.

Матеріально-технічна компонента спрямована на розвиток засобів навчання через оновлення технічного обладнання. Реалізацією компоненти може бути створення навчально-наукових полігонів «Розумна ферма» (Smart Farm) як на базі господарств, так і у ЗВО. Зокрема, передбачається наявність відкритої лабораторної ділянки, де встановлені метеостанції, ґрунтові сенсори, системи автоматичного краплинного зрошення з IoT-керуванням. Умовою успішної реалізації цієї компоненти є активна співпраця з аграрними підприємствами, виробниками сільськогосподарської техніки, ІТ-компаніями для забезпечення актуальним обладнання, розумними пристроями тощо. Робота на такому полігоні дозволяє студентам різних спеціальностей працювати з реальним апаратним і програмним забезпеченням (Farm Management Information Systems – FMIS), що забезпечує актуальність наданих освітніх послуг для ринку праці та підвищує рівень сформованих вмінь та навичок майбутніх фахівців.

Натомість, запропонована трикомпонентна модель професійної підготовки має універсальний характер та може не обмежуватись спеціальностями, наведеними у прикладі, адже модернізації методичної системи потребує в цілому навчальна підготовка у вищій школі. Зокрема, формат міждисциплінарних проєктних модулів у вибіркових компонентах дозволяє залучати студентів спеціальностей D7 Торгівля (розробка бізнес-моделей впровадження смарт-технологій), H3 Садово-паркове господарство (моніторинг екосистем за

допомогою БАС), G18 Геодезія та землеустрій (створення цифрових карт і 3D-моделей рельєфу), G13 Харчові технології (інтеграція даних про якість сировини з IoT-сенсорів у циклі «виробництво - переробка») тощо. Інтеграція запропонованих технологій IoT та UAS перетворює вибіркову дисципліну на спільний освітній простір, де формуються навички командної роботи над комплексними проєктами, що моделюють реальні виробничі процеси АПК. Щодо класичних навчальних дисциплін, то у їх зміст доцільно інтегрувати блоки, присвячені, зокрема, тематиці застосування сучасної техніки і роботі з електронними картами полів.

Формування фахових компетентностей у сфері точного землеробства, IoT і UAS є не лише педагогічним завданням, а й прямим виконанням стратегічних орієнтирів держави. Міждисциплінарна інтеграція та спільне проєктне навчання спрямоване на підготовку фахівців, здатних ефективно працювати в умовах новітніх форм господарювання. Запропонована педагогічна модель, побудована на основі класичної дидактичної тріади, забезпечує комплексність підготовки фахівців і відповідає сучасним вимогам до організації освітнього процесу. Запропонований підхід дозволяє скоротити час адаптації випускників до виконання професійних завдань в реальних умовах виробництва.

Список використаних джерел

1. Бойко М. О. Точне землеробство як чинник забезпечення екологічної стійкості та захисту ґрунтів. Аграрні інновації. 2023. № 22. С. 15–19. URL: https://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/515

2. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Відомості Верховної Ради України. 2014. № 37-38. Ст. 2004. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text.

3. Національна економічна стратегія на період до 2030 року : схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. № 179. Офіційний вісник України. 2021. № 24. Ст. 1234. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-п#Text

4. Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 23.02.2022 р. № 286-р. Верховна Рада України : сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text

5. Badgujar C., Das S., Figueroa D. M., Flippo D. Application of Computational Intelligence Methods in Agricultural Soil–Machine Interaction: A Review. Agriculture. 2023. Vol. 13, Iss. 2. Art. 357. URL: https://doi.org/10.3390/agriculture13020357.

УДК 378.147:621.31:620.91

ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ НАВЧАЛЬНОГО STEM-КОМПЛЕКТУ

Попов С. В., Біленко В. О.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасна інженерна підготовка фахівців агропромислового виробництва потребує як засвоєння теоретичних положень, так і формування здатності застосовувати отримані знання для вирішення практичних технічних завдань. Особливо актуальним є використання в освітньому процесі сучасних технологій відновлюваної енергетики. Фотоелектричні системи знаходять застосування у різних об'єктах агропромислового виробництва, включаючи автономні джерела електроживлення, системи автоматизації, електроприводи.

Одним із ефективних засобів практико-орієнтованої підготовки майбутніх інженерів є застосування навчальних STEM-комплектів. Вони дозволяють об'єднати знання з фізики, електротехніки, електроніки, основ альтернативної енергетики у межах одного експериментального завдання. Робота з таким обладнанням дає можливість здобувачам освіти самостійно досліджувати взаємозв'язок між параметрами джерела живлення та режимом роботи електричного приводу, проводити вимірювання, обробляти результати та формулювати інженерні висновки [1].

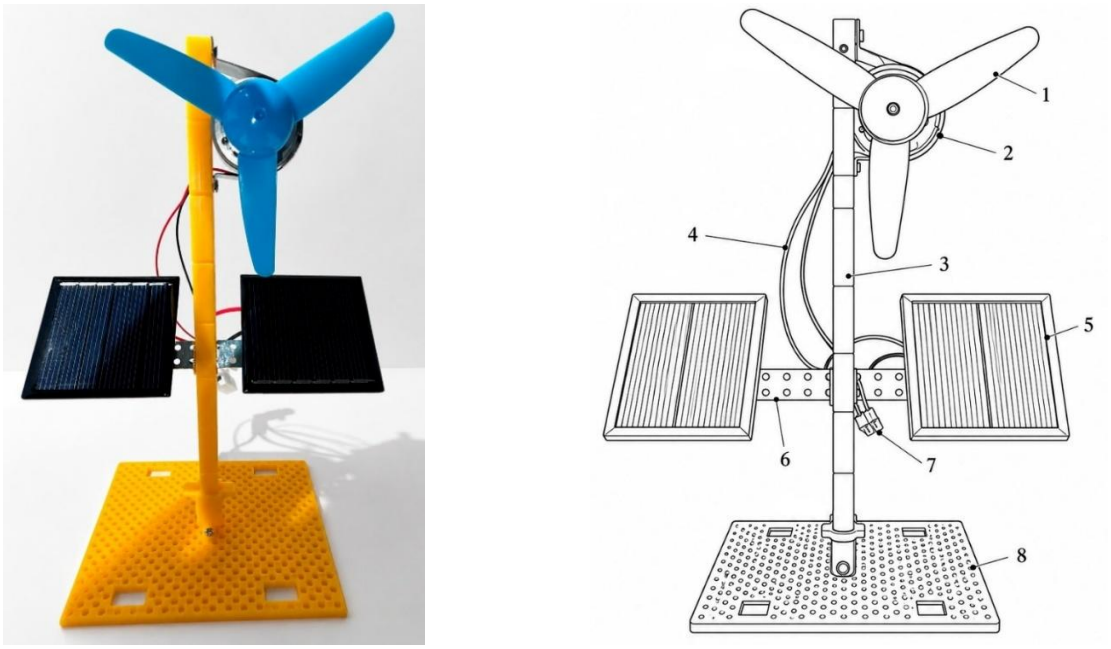
У зв'язку з цим актуальним завданням професійної підготовки є розробка та апробація простих експериментальних методик, що можуть використовуватись під час лабораторних та практичних занять, а також одночасно сприяти формуванню професійних інженерних компетентностей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання STEM-технологій та навчальних фотоелектричних систем для формування практичних компетентностей здобувачів освіти розглянуто у низці наукових та навчально-методичних праць. Зокрема, застосування STEM-комплектів дозволяє організувати дослідницьку діяльність здобувачів освіти та забезпечити практичне вивчення принципів перетворення сонячної енергії на електричну [2-4]. Експериментальний підхід до визначення електричних параметрів джерел живлення та аналізу режимів їхньої роботи також використовується в інженерній підготовці [5, 6].

Разом з тим для професійної підготовки майбутніх фахівців агропромислового виробництва цікавить не лише вивчення характеристик окремих фотоелектричних модулів, а й виконання комплексних практичних завдань, у яких зміна параметрів джерела живлення безпосередньо пов'язана зі зміною режиму роботи електричного приводу. Такий підхід дозволяє

моделювати реальні інженерні завдання та формувати у здобувачів освіти навички аналізу технічних систем.

Мета. Метою роботи є розробка та експериментальна апробація навчального завдання для формування інженерних та дослідницьких компетентностей здобувачів освіти щодо фотоелектричних систем та електричного приводу на прикладі STEM-комплекту (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Навчальний STEM-комплект: а – вид загальний; б – конструктивна схема: 1 – пропелер; 2 – електричний двигун постійного струму; 3 – стійка опорна; 4 – з’єднувальні електричні дроти; 5 – сонячна панель (фотоелектричний модуль); 6 – кронштейн кріплення; 7 – клемна колодка; 8 – платформа-основа

Для досягнення поставленої мети необхідно було дослідити вплив послідовної та паралельної схем з'єднання двох однакових сонячних панелей на електричні параметри системи живлення та частоту обертання електродвигуна, а також оцінити можливість використання отриманих результатів у лабораторній та практичній підготовці майбутніх інженерів.

Результати досліджень. Дослідження виконувалося за однакових умов освітлення із використанням експериментального стенду. Він містив дві однакові сонячні панелі, двигун постійного струму, цифровий мультиметр, джерело світла зі стабільною інтенсивністю світлового потоку.

У ході виконання лабораторного завдання здобувачі освіти можуть послідовно виконати кілька етапів інженерно-дослідницької роботи: зібрати електричну схему, виміряти напругу та силу струму, визначити частоту обертання електродвигуна, розрахувати електричну потужність, порівняти отримані результати та сформулювати висновки щодо вибору схеми з'єднання сонячних панелей.

Частоту обертання електродвигуна визначали за відеозаписом його роботи, виконаним камерою смартфона, шляхом підрахунку кількості обертів за відомий проміжок часу. Такий спосіб визначення частоти обертання не вимагає використання спеціалізованого вимірювального обладнання та може бути безпосередньо реалізований під час лабораторного заняття. Експериментальні дослідження показали, що при паралельному з'єднанні сонячних панелей напруга холостого ходу становила 3,05 В, номінальна напруга – 2,77 В, сила струму – 121 мА, частота обертання електродвигуна – 1170 об/хв, а електрична потужність навантаження – 0,335 Вт. При послідовному з'єднанні напруга холостого ходу збільшилася до 6,12 В, номінальна напруга склала 5,48 В, сила струму – 68 мА, електрична потужність навантаження – 0,373 Вт, а частота обертання електродвигуна досягла 2250 об/хв. Таким чином, частота обертання збільшилась на 92,3%. Електрична потужність навантаження зросла з 0,335 до 0,373 Вт, тобто на 11,3%.

Отримані результати дозволяють здобувачам освіти на практичному прикладі встановити взаємозв'язок між електричними параметрами джерела живлення та режимом роботи електродвигуна. При цьому порівняння двох схем з'єднання створює умови для самостійного аналізу переваг та обмежень кожного варіанту залежно від поставленого інженерного завдання. Важливим результатом застосування запропонованого завдання є можливість формування у майбутніх спеціалістів комплексу практичних навичок (складання електричних ланцюгів, виконання вимірювань, роботи з вимірювальними приладами, визначення параметрів електроприводу, обробки експериментальних даних, проведення порівняльного аналізу та обґрунтування технічних рішень). Використання STEM-комплекту дозволяє реалізувати міждисциплінарний підхід до професійної підготовки, поєднуючи знання з фізики, електротехніки, електроніки та альтернативної енергетики, основ інженерного проектування. При цьому здобувач освіти виступає не лише у ролі виконавця лабораторної роботи, а й у ролі дослідника. Він самостійно встановлює причинно-наслідкові зв'язки між зміною параметрів системи, а також результатами її роботи.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у можливості використання розробленого експериментального завдання у процесі професійної та інженерної підготовки здобувачів освіти аграрних та технічних спеціальностей. Методика може застосовуватися під час лабораторних та практичних занять з дисциплін «Фізика», «Електротехніка», «Електроніка», «Основи альтернативної енергетики», а також щодо питань електроприводу та енергопостачання об'єктів агропромислового виробництва. Запропонований підхід дозволяє організувати навчання на основі реального технічного об'єкта, а також забезпечити перехід від засвоєння теоретичних знань до їх практичного застосування. Використання доступного обладнання та камери смартфона для визначення частоти обертання робить методику придатною для проведення занять без застосування складних спеціалізованих вимірювальних комплексів. Виконання подібних експериментальних завдань сприяє розвитку у здобувачів освіти навичок постановки інженерного завдання, планування експерименту,

проведення вимірювань, обробки та інтерпретації отриманих даних, обґрунтування технічних рішень. Ці компетентності є важливим складником професійної підготовки фахівців, що здатні вирішувати практичні завдання в умовах сучасного агропромислового виробництва.

Висновки. Проведене дослідження показало, що навчальний STEM-комплект на основі сонячних панелей та електродвигуна може використовуватися не лише для демонстрації закономірностей роботи фотоелектричних систем, а й як засіб формування практичних та дослідницьких компетентностей майбутніх інженерів. Експериментальне порівняння паралельного та послідовного з'єднання сонячних панелей дозволяє здобувачам освіти наочно встановити вплив напруги та сили струму джерела живлення на режим роботи електродвигуна. При послідовному з'єднанні номінальна напруга збільшилася з 2,77 В до 5,48 В. Це супроводжувалося збільшенням частоти обертання електродвигуна на 92,3% (з 1170 об/хв до 2250 об/хв). Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення лабораторних практикумів, розробки практикоорієнтованих STEM-завдань та організації дослідницької діяльності здобувачів освіти. Запропонований підхід сприяє формуванню у майбутніх фахівців агропромислового виробництва здатності застосовувати теоретичні знання для аналізу реальних технічних систем та обґрунтування інженерних рішень.

Список використаних джерел

1. Левченко Ю.В., Басова Ю.О., Попов С.В. STEM-технології при викладанні дисциплін професійної підготовки інженерів. *Актуальні питання забезпечення якості вищої освіти*: матер. 55 наук.-метод. конф., м. Полтава, ПДАУ, 21-22 лютого 2024 р. Полтава, 2024. С. 165-168. DOI: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28757537.v1

2. Івахнов А. В., Кулапін О. В., Махотіло К. В., Лазуренко О. П., Булгаков О. В., Шокарьов Д. А. STEM-конструктор «Фотоелектрична система» для очної та дистанційної освіти. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* 2024. №12(203). С. 5-20. DOI: https://doi.org/10.20998/2313-8890.2024.12.01

3. Van den Beemt A., Groothuijsen S., Ozkan L., Hendrix W. Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy. Journal of Computing in Higher Education. 2023. Vol. 35. P. 320–340. DOI: https://doi.org/10.1007/S12528-022-09331-4

4. Vijayakumar P., Rajasekar N. Design and Development of Low-Cost Photovoltaic Module Characterization Educational Demonstration Tool // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46, No. 11. P. 5433-5440. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.135

5. Alqahtani A., Alsaffar M., El-Sayed M., Behbehani H. A photovoltaic system experiment in a laboratory environment. *International Journal of Electrical Engineering Education*. 2018. Vol. 55, Is. 1. P. 37-52. DOI: https://doi.org/10.1177/0020720917750956

6. Попов С.В., Левченко Ю.В., Петраш О.В., Попов К.С. Експериментальне дослідження режимів інтелектуального імпульсного зарядного пристрою. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 2024 (1), 122-135. DOI: https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-9

УДК 378.147:62:631.3

ВИКОРИСТАННЯ ДІЮЧОЇ НАВЧАЛЬНОЇ STEM-МОДЕЛІ В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ

Попов С.В., Макар О.З.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасна підготовка фахівців інженерного профілю для агропромислового виробництва потребує не лише засвоєння теоретичних знань, а й формування практичних навичок роботи з технічними системами [1-3]. При вивченні дисциплін інженерного циклу виникає проблема недостатньої наочності при поясненні принципів роботи механізмів, процесів передачі та перетворення енергії. Використання діючих навчальних STEM-моделей дозволяє підвищити ефективність освітнього процесу. Це можливо за рахунок спостереження здобувачами освіти за роботою окремих механізмів, а також їх взаємодії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема впровадження STEM-підходу в інженерну освіту активно досліджується науковцями. STEM-освіта розглядається не лише як поєднання природничих, математичних, технологічних та інженерних дисциплін, а як інтегрований підхід до навчання. Він орієнтований на вирішення практичних та технічних завдань. Міждисциплінарне STEM-навчання спрямоване на формування не лише предметних знань, але й практичних навичок, уміння застосовувати отримані знання, працювати з комплексними технічними проблемами [4-6]. Водночас автори відзначають необхідність узгодження змісту навчання, практичної діяльності, а також методів оцінювання результатів.

Важливим напрямом сучасної інженерної освіти є створення навчального середовища, у якому здобувачі можуть застосовувати знання з різних дисциплін для розв’язання конкретних інженерних задач. Автори [7], узагальнивши результати 99 досліджень з міждисциплінарної інженерної освіти, наголошують на ефективності командної, практико-орієнтованої діяльності. Саме вона створює умови для наближення навчання до реальної інженерної практики. Подальші дослідження підтверджують перспективність використання реальних технічних об’єктів, експериментальних завдань, проєктної діяльності для розвитку міждисциплінарних компетентностей майбутніх інженерів [8, 9]. Водночас недостатньо уваги приділено використанню простих діючих навчальних моделей, які б одночасно демонстрували механічні процеси, перетворення енергії, а також взаємозв’язок механічних і електротехнічних компонентів у підготовці фахівців агропромислового профілю. Це визначає доцільність дослідження можливостей застосування запропонованої STEM-моделі в освітньому процесі.

Мета. Метою роботи є обґрунтування можливостей використання діючої навчальної STEM-моделі механічної передачі з електричним генератором у процесі професійної підготовки майбутніх спеціалістів агропромислового виробництва, а також визначення напрямків її застосування для формування інженерних компетентностей.

Результати досліджень. Навчальна STEM-модель (рис. 1) являє собою систему, що включає пасову передачу з двома шківами та гумовим пасом, DC-генератор, підвищувальний перетворювач із USB, LED-джерело світла (лампочка). При обертанні більшого ведучого шківа механічна енергія за допомогою пасової передачі передається на ведений шків. Останній з'єднаний з електричним генератором постійного струму. В результаті відбувається перетворення механічної енергії в електричну, що призводить до роботи лампочки.

Використання STEM-моделі дає можливість наочно вивчати принцип дії пасової передачі, кінематичний зв'язок між ведучим та веденим шківами, вплив їх геометричних параметрів на частоту обертання, а також особливості перетворення енергії. На її основі можуть виконуватися практичні та лабораторні завдання щодо визначення передавального відношення, частоти обертання елементів механізму, дослідження проковзування пасу та оцінки ефективності передачі енергії.

Запропонована STEM-модель особливо цінна у випадку міждисциплінарної підготовки. Її застосування дозволяє поєднати знання з теорії механізмів і машин, деталей машин, електротехніки, фізики, а також технічної діагностики. Здобувач освіти може не тільки спостерігати за роботою механізму, але й самостійно здійснювати його розрахунок, визначення конструктивних параметрів, розробляти ескізи, підібрати матеріали, а також проводити експериментальну перевірку отриманих результатів.

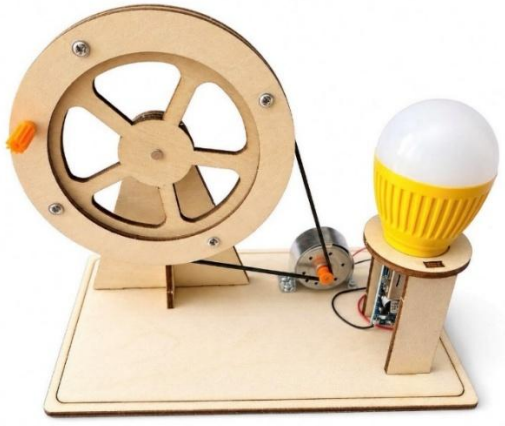


Рис. 1. Навчальна STEM-модель (вид загальний)

Практико-орієнтований характер такої роботи сприятиме розвитку інженерного мислення, просторової уяви, навичок аналізу технічних систем, а також прийняття інженерних рішень. Виготовлення та використання таких моделей у рамках навчального проєктування дозволить реалізувати принцип навчання через практичну діяльність.

Висновки. Діюча навчальна STEM-модель є ефективним засобом підвищення наочності, практичної спрямованості інженерної підготовки фахівців для агропромислового виробництва. Її використання дозволить поєднати теоретичне вивчення механізмів з експериментальними дослідженнями, а також проєктною діяльністю здобувачів. Застосування запропонованої конструкції сприятиме формуванню системного інженерного мислення, практичних компетентностей, що необхідні майбутнім спеціалістам під час експлуатації, технічного обслуговування, а також вдосконалення сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

1. Попов С.В., Федьків О.О., Васильєв Є.А. Продовження життєвого циклу малотоннажних фермерських фургонів. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: зб. тез XXIII Міжнар. наук. конф., м. Київ-Житомир, НУБІП-ЖАФК, 16-18 жовтня 2022 р. Житомир, 2022. С. 275.

2. Попов С.В., Кеда Д.Ю. Практичні аспекти відновлення роботоздатності гальмівного механізму Mando. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, ТДАТУ, 03-28 листопада 2025 р. Запоріжжя, 2025. С.253-256.

3. Попов С.В., Стребко В.А. Аналіз навантажень у гвинтовій передачі. *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування*: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 04 груд. 2025 р.). Полтава, ПДАУ: 2025. С. 9-10.

4. Gao X., Li P., Shen J., Sun H. Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2020. Vol. 7. Article 24. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4

5. Portillo-Blanco, A., Guisasola, J., Zuza, K. Integrated STEM education: addressing theoretical ambiguities and practical applications. *Frontiers in Education*. 2025. Vol. 10. Article 1568885. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1568885

6. Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasola, J., Zuza, K. A systematic literature review of integrated STEM education: uncovering consensus and diversity in principles and characteristics. *Education Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 9. Article 1028. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci14091028

7. Van den Beemt A., MacLeod M., Van der Veen J., Van de Ven A., van Baalen S., Klaassen R., Boon M. Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support. *Journal of Engineering Education*. 2020. Vol. 109, No. 3. P. 508-555. DOI: https://doi.org/10.1002/jee.20347

8. Mesutoglu C., Bayram-Jacobs D., Vennix J., Pepin B. Impacts of interdisciplinary engineering education: A systematic review of the literature. *Proceedings – SEFI 49th Annual Conference: Blended Learning in Engineering Education: Challenging, Enlightening – and Lasting?* 2021. P. 374-382. URL: https://www.sefi.be/wp-content/uploads/2021/12/SEFI-Annual-Conference-2021-Blended-Learning-in-Engineering-Education.pdf (дата звернення: 04.09.2026).

9. Beddoes K., Bartlett K. Assessing interdisciplinary learning and knowledge: A state-of-the-art review and heuristic. *Journal of Engineering Education*. 2026. Vol. 115, No. 2. Article e70062. DOI: https://doi.org/10.1002/jee.70062

УДК 378.147:621.9

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОГО ФРЕЗЕРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Попов С.В., Твердохліб М.В.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасний розвиток агропромислового виробництва висуває підвищені вимоги до професійної підготовки фахівців, які здатні не лише експлуатувати складні машини та обладнання, а й здійснювати їх технічне обслуговування, ремонт і відновлення. Виготовлення або відновлення значної частини деталей сільськогосподарських машин відбувається із застосуванням операцій механічної обробки. Серед таких операцій важливе місце посідає фрезерування [1-3].

Широке використання збірного різального інструменту зі змінними твердосплавними пластинами – одна з особливостей сучасного машинобудування. Його застосування підвищує продуктивність обробки, скорочує час заміни різальних елементів, а також адаптує інструмент до різних умов обробки.

Часто при підготовці майбутніх фахівців машинобудівного профілю вивчення металорізального інструменту обмежується теоретичним розглядом його конструкції, геометрії та призначення. Саме такий підхід не забезпечує формування практичних умінь, що необхідні для роботи на сучасному технологічному обладнанні.

Отже, актуальним є використання реального фрезерного інструменту і в освітньому процесі. Це дозволить поєднати теоретичні знання із практичними діями (ідентифікацію конструктивних елементів, встановлення змінних пластин, виконання вимірювань, аналіз маркування, обґрунтування вибору інструменту).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні технологічні методи механічної обробки передбачають широке застосування збірного різального інструменту. Його конструкція базується на використанні змінних твердосплавних пластин. Для ефективного використання даного інструменту фахівець повинен розуміти взаємозв’язок між його конструкцією, геометрією різальної частини, матеріалом пластини, матеріалом заготовки, режимами різання.

Класифікація твердих різальних матеріалів та рекомендації щодо їх застосування регламентуються, зокрема, стандартом ISO 513:2012 [4]. Він регламентує основні групи застосування твердих різальних матеріалів для обробки металів зі зняттям стружки. Виробники сучасного різального інструменту пропонують чималу кількість конструкцій змінних пластин. Вони відрізняються геометрією, типорозміром, маркою твердого сплаву, а також

сферою застосування. Наприклад, каталог Mitsubishi Materials містить виконання пластин типорозміру APMT1604 для операцій фрезерування [5].

Важливою складовою професійної підготовки майбутніх фахівців машинобудівного профілю є формування практичних умінь роботи із сучасним металорізальним інструментом. Особливого значення це набуває для збірних фрез із механічним кріпленням змінних твердосплавних пластин. Результат обробки залежить не лише від конструкції та матеріалу різальної частини, а й від правильності встановлення та положення окремих пластин.

Авторами [6] досліджено вплив похибок встановлення різальних пластин на шорсткість поверхні під час торцевого фрезерування. Виявлено, що відхилення положення окремих різальних елементів призводить до зміни умов їх взаємодії із заготовкою, впливає на якість обробленої поверхні. Для практичної підготовки цей результат має безпосереднє значення. Він обґрунтовує необхідність формування у здобувачів умінь правильно встановлювати змінні пластини, забезпечувати чистоту посадкових поверхонь та контролювати правильність їх положення.

Вплив биття різальних елементів під час фрезерування на шорсткість поверхні, похибку положення обробленої поверхні та стійкість процесу розглянуто у роботі [7]. Нерівномірне положення різальних елементів змінює розподіл навантаження між ними, може погіршувати результати обробки. З педагогічної точки зору це дає підстави доповнювати традиційне вивчення конструкції фрези практичними завданнями, що пов’язані з аналізом правильності встановлення пластин, виявленням можливих причин нерівномірної роботи різальних елементів.

Результат обробки формується під дією сукупності похибок технологічної системи, а не тільки за рахунок режимів різання [8]. Це підкреслює необхідність формування у здобувачів системного розуміння взаємодії верстата, інструменту, а також заготовки. Доцільно пропонувати завдання, у яких здобувач повинен не тільки визначити конструктивні елементи фрези, а й пояснити, як саме правильність її встановлення, стан різальних елементів можуть вплинути на результат обробки.

Моделюванню та аналізу топографії поверхні, сформованої під час торцевого фрезерування, присвячено роботу [9]. Було встановлено зв’язок між параметрами інструменту, кінематикою процесу різання, характеристиками отриманої поверхні. Для освітнього процесу це створює можливість переходу від формального вивчення конструкції фрези до практичного аналізу причинно-наслідкового зв’язку між геометрією різального інструменту, умовами його роботи, результатом обробки.

Автори [10] розглядають джерела виникнення похибок під час торцевого фрезерування та підходи до їх мінімізації. Для практичної підготовки здобувачів освіти це має важливе значення, оскільки дозволяє пов’язати конструктивні особливості фрези та правильність її налаштування з точністю та якістю отриманої поверхні.

Таким чином, сучасний фрезерний інструмент доцільно розглядати не лише як об’єкт вивчення його конструкції та призначення, а як складову технологічної системи. Правильність підготовки фрезерного інструменту та його використання безпосередньо впливають на результат механічної обробки. Саме це визначає доцільність перенесення відповідних положень до практичної підготовки здобувачів освіти.

Мета. Метою роботи є обґрунтування доцільності використання сучасного збірного фрезерного інструменту на прикладі торцевої фрези BAP400R-50-22 зі змінними твердосплавними пластинами APMT1604 (рис. 1) для вдосконалення практичної підготовки здобувачів освіти машинобудівного профілю, а також формування їх професійних інженерних компетентностей.



Рис. 1. Торцева фреза BAP400R-50-22
зі змінними твердосплавними пластинами APMT1604

Результати досліджень. Для практичної підготовки здобувачів освіти доцільно використовувати торцеву фрезу BAP400R-50-22 зі змінними твердосплавними пластинами APMT1604 саме як реальний навчальний об’єкт. Це дозволить організувати комплексну практичну роботу. Під час неї здобувач послідовно переходить від вивчення конструкції до виконання конкретних технологічних дій.

Першим етапом є ознайомлення з конструкцією фрези. Здобувачі визначають корпус інструменту, посадкові місця для змінних пластин, елементи їх кріплення, робочі зубці, різальні кромки. У досліджуваному зразку фрези передбачено чотири робочі зубці, оснащені змінними пластинами. На наступному етапі вивчається змінна пластина APMT1604. Здобувач визначає її форму, основні поверхні, різальні кромки, ознайомлюється з маркуванням, встановленням, умовами обробки конкретного виконання пластини. При цьому важливо сформувати розуміння того, що позначення різальної пластини містить у собі інформацію про її геометричні, конструктивні характеристики.

Окрім того, завдання доцільно доповнити операцією встановлення та заміни пластини. Під контролем викладача здобувач виконує очищення посадкового місця, встановлення пластини, правильне орієнтування,

закріплення. Після монтажу – візуальний контроль правильності встановлення. Такий етап є важливим для формування практичної компетентності. Здобувач не лише спостерігає за конструкцією інструменту. Він безпосередньо виконує технологічні операції. Останні можуть бути необхідними під час експлуатації, обслуговування чи ремонту обладнання.

Наступним елементом заняття може бути контроль геометричних параметрів. Для цього використовуються кутомір та штангенциркуль. Здобувачі можуть визначати доступні геометричні параметри корпусу фрези, змінної пластини, порівнювати отримані значення із паспортними чи довідковими даними, оцінювати відповідність інструменту заданим параметрам.

У результаті така робота може бути представлена у вигляді послідовності, наведеної у табл. 1.

Таблиця 1

Послідовність виконання роботи

Етап роботи	Діяльність здобувача освіти	Компетентність
1. Ознайомлення з інструментом	Визначення типу та призначення фрези	Ідентифікація технологічного інструменту
2. Вивчення конструкції	Визначення корпусу, зубців, посадкових місць та елементів кріплення	Розуміння конструкції металорізального інструменту
3. Вивчення пластини	Аналіз форми, геометрії та маркування APMT1604	Робота з технічною інформацією
4. Встановлення пластини	Очищення, орієнтування та закріплення пластини	Практичні навички роботи з інструментом
5. Вимірювання	Контроль доступних геометричних параметрів	Метрологічні навички
6. Аналіз застосування	Вибір пластини відповідно до матеріалу та умов обробки	Інженерне прийняття технологічних рішень
7. Контроль	Перевірка правильності монтажу та стану різальних кромок	Контроль технічного стану та якості підготовки інструменту

На особливу увагу заслуговує поєднання роботи з інструментом та аналіз технологічної документації. Здобувачеві можна запропонувати визначити, які параметри необхідно врахувати перед використанням фрези (матеріал заготовки, тип змінної пластини, геометрію різальної кромки, рекомендовані режими різання, умови закріплення заготовки, особливості фрезерного верстата). Наприклад, завдання на тему: «Торцеве фрезерування сталевої заготовки» потребує перед початком роботи перевірки характеристики фрези, а також змінної пластини. Здобувачу знадобляться знання із матеріалознавства, технології механічної обробки, різального інструменту та метрології.

Інший варіант завдання може передбачати аналіз типових помилок під час монтажу змінних пластин. Здобувачі визначають можливі наслідки недостатнього очищення посадкового місця, неправильного базування пластини, пошкодження різальної кромки, неналежного закріплення. Це переводить роботу із рівня простого виконання інструкції на рівень аналізу виробничої ситуації.

Важливою перевагою саме такого підходу є можливість інтегрувати знання з декількох дисциплін. Під час роботи з одним об'єктом здобувач застосовує знання про конструкційні матеріали, різання металів, металорізальні верстати, різальний інструмент, технічні вимірювання і навіть охорону праці. Для майбутніх фахівців у сфері агропромислового виробництва це має особливе значення. Ремонтні підприємства, ремонтно-механічні майстерні, машинобудівні заводи, орієнтовані на аграрний сектор, використовують технологічні операції механічної обробки під час виготовлення та відновлення деталей машин. Тому розуміння сучасного металорізального інструменту є складовою професійної готовності фахівця.

Запропонований підхід дозволяє змінити роль здобувача освіти з пасивного спостерігача на безпосереднього учасника практичної діяльності. Робота з реальною фрезою формує навички, що складно повноцінно відпрацювати лише за допомогою схем, фотографій, віртуальних моделей. При цьому таке заняття не потребує обов'язкового проведення складного експерименту. Сама можливість розібратися у конструкції інструменту, виконати встановлення змінної пластини, провести вимірювання, обґрунтувати умови її використання створює навчальну ситуацію, що наближена до реального виробництва.

Таким чином, використання сучасної збірної фрези доцільно розглядати не лише як спосіб демонстрації сучасних технологій механічної обробки, але й як інструмент формування професійних компетентностей майбутнього фахівця.

Висновки. Використання сучасного металорізального інструменту в освітньому процесі – один із перспективних напрямів удосконалення практичної підготовки майбутніх фахівців машинобудівного профілю. На прикладі торцевої фрези BAP400R-50-22 зі змінними твердосплавними пластинами APMT1604 показано можливість організації комплексного завдання. Воно охоплює вивчення конструкції інструменту, аналіз змінної пластини, її встановлення та заміну, виконання технічних вимірювань і обґрунтування вибору інструменту відповідно до умов обробки. Запропонований підхід забезпечує інтеграцію знань із технології машинобудування, матеріалознавства, метрології, різального інструменту, сприяє розвитку технічного мислення, формуванню навичок прийняття інженерних рішень. Застосування реальних зразків сучасного інструменту дозволяє наблизити практичну підготовку до умов виробничої діяльності, підвищити готовність майбутніх фахівців до роботи з технологічним обладнанням підприємств машинобудівного й агропромислового профілю.

Список використаних джерел

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.

2. Попов С.В., Гнітько С.М., Даценко В.В. Дослідження параметрів шорсткості кінцевого фрезерування інструментом зі зносостійким покриттям. Тези доповідей 69-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2017. С.147-148.

3. Попов С.В., Васильєв А.В., Ясько С.Г. Оптимізація режимів різання при обробці сплаву АК5М2 фрезами із твердого сплаву ВК8. І Всеукраїнська науково-технічна конференція „Високі технології в машинобудуванні”: Тези доповідей. Полтава: Полтавський національний технічний університет, 2015. С. 35.

4. ISO 513:2012. Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges – Designation of the main groups and groups of application. Geneva : International Organization for Standardization, 2012. 3 p.

5. Mitsubishi Materials Corporation. Indexable Milling: Technical Data and Cutting Conditions. [S. l.]: Mitsubishi Materials Corporation, [s. a.]. [Електронний ресурс]. URL: https://view.publitas.com/mitsubishi-materials/catalog_indexable_milling_k/page/374-375 (дата звернення: 28.09.2026).

6. Felhő C., Kundrák J. Effects of Setting Errors (Insert Run-Outs) on Surface Roughness in Face Milling When Using Circular Inserts. *Machines*. 2018. Vol. 6, No. 2. Art. 14. DOI: https://doi.org/10.3390/machines6020014

7. Schmitz T. L., Couey J., Marsh E., Mauntler N., Hughes D. Runout effects in milling: Surface finish, surface location error, and stability. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2007. Vol. 47, No. 5. P. 841-851. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.06.014

8. Franco P., Estrems M., Faura F. A study of back cutting surface finish from tool errors and machine tool deviations during face milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2008. Vol. 47, No. 1. P. 112-123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.07.001

9. Arizmendi M., Jiménez A. Modelling and analysis of surface topography generated in face milling operations. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2019. Vol. 163. 105061. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105061

10. Мельничук П. П., Лоєв В. Ю. Чистове торцеве фрезерування широких плоских поверхонь. Аналіз утворення похибок і попередні рекомендації щодо їх мінімізації. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». 2008. № 4 (47). С. 29-42.

УДК 378.147:004.8:378.631

ПЕДАГОГІЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ТА AI В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС АГРАРНИХ ЗВО

Рижкова Т. Ю., Овсієнко Ю. І.
Полтавський державний аграрний університет

Трансформація аграрного виробництва супроводжується переходом від традиційних технологій до систем, що ґрунтуються на цифрових даних, сенсорному моніторингу, дистанційному зондуванні, комп'ютерному зорі, машинному навчанні, інтелектуальному управлінні технічними системами. Застосування штучного інтелекту (AI) охоплює аналіз властивостей ґрунту, розпізнавання стану рослин, прогнозування врожайності, оптимізацію використання ресурсів, аналіз роботи технічних систем і підтримку прийняття рішень. Огляд сучасних застосувань AI у точному землеробстві підкреслює роль поєднання даних дистанційного зондування, сенсорів, Інтернету речей (IoT) й алгоритмів машинного навчання для моніторингу й управління аграрними процесами [1].

За таких умов змінюються вимоги до професійної підготовки фахівця аграрного виробництва. Він має не лише знати конструкцію сільськогосподарської машини і технологію виконання операції, а й уміти працювати з масивами даних, будувати моделі, аналізувати результати вимірювань і використовувати інтелектуальні інструменти для обґрунтування інженерних рішень. Це зумовлює необхідність перебудови освітнього процесу аграрних закладів вищої освіти (ЗВО) й інтеграції в нього доступних цифрових платформ і AI-технологій.

Огляд сучасних застосувань AI у точному землеробстві підкреслює роль поєднання даних дистанційного зондування, IoT й алгоритмів машинного навчання [1]. Дослідження взаємодії «ґрунт-машина» дедалі частіше базуються на методах обчислювального інтелекту (CI) для аналізу тяги й ущільнення [6]. Проте, попри наявність потужного інструментарію, питання системної інтеграції цих технологій у навчальний процес ЗВО залишається відкритим. Більшість існуючих підходів фрагментарні й не утворюють цілісної педагогічної моделі підготовки фахівців для аграрного виробництва.

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні й розробці структурної педагогічної моделі інтеграції цифрових платформ і технологій AI в освітній процес аграрних ЗВО для формування у здобувачів здатності до прийняття data-driven (керованих даними) інженерних рішень.

Важливою особливістю сучасного аграрного виробництва є взаємозв'язок природних і технічних компонентів. Наприклад, властивості ґрунту впливають на роботу ґрунтообробної машини, параметри роботи машини визначають характер зміни ґрунтового середовища, стан ґрунту впливає на умови росту рослин. Сучасні технології доповнюють цю взаємодію етапами цифрового

опрацювання даних: від збору аналітичних даних про стан ґрунту й рослин, через побудову математичних моделей і застосування алгоритмів AI, до формування обґрунтованих інженерних рішень. Перехід від вивчення окремих об'єктів до дослідження цілісного інформаційно-технологічного ланцюга охоплює всі зазначені етапи: від фізичних компонентів (ґрунт, рослина, машина) до цифрових (дані, модель, AI), що в результаті приводить до формування інженерного рішення.

Узагальнення характеристик доступних цифрових інструментів дозволило сформувати педагогічну модель, яка структурно складається з трьох взаємопов'язаних блоків.

Перший блок є змістовно-інструментальним, що охоплює ресурсну базу навчання. Даний блок поділяється на дві складові: глобальні цифрові платформи та апаратна база навчальних лабораторій.

SoilGrids – система глобального цифрового картування ґрунтів, що використовує методи машинного навчання. Вона формує просторові прогнози властивостей ґрунту з роздільною здатністю 250 м для шести стандартних глибин. Серед доступних характеристик: pH, органічний вуглець, насипна щільність, гранулометричний склад, катіонообмінна ємність, загальний азот та інші показники [2]. Прикладом її застосування у навчальному процесі може бути завдання на тему: «Цифрова характеристика ґрунту досліджуваної території». Здобувач повинен обрати досліджувану ділянку, отримати цифрові характеристики ґрунту, візуалізувати їх, порівняти різні ділянки і сформулювати гіпотези щодо можливого впливу властивостей ґрунту на роботу ґрунтообробної техніки. У той же час, використання OneSoil передбачає можливість просторового моніторингу поля, що поєднує супутникові дані, моніторинг полів, вегетаційні індекси й інші цифрові інструменти. Розробником передбачено безкоштовний доступ до реальних цифрових даних для академічних або неприбуткових цілей [5]. Ресурсна база GridScore NEXT є open-source застосунком для збору й візуалізації фенотипових даних рослин. Платформа дозволяє створювати власні досліди, імпортувати експерименти і працювати з демонстраційними наборами даних [3]. Застосунок Petiole Pro використовує комп'ютерний зір для цифрового фенотипування рослин: визначення площі листка, характеристики зеленого забарвлення, листкового індексу й інших морфометричних показників. Платформа використовується у наукових дослідженнях. На офіційному дослідницькому ресурсі Petiole Pro наведено понад сотню наукових робіт, у яких застосовувалася ця технологія [4]. Прикладом для використання застосунків може бути виконання навчальних завдань за тематикою: «Визначення цифрових характеристик рослин залежно від умов ґрунтового середовища».

Друга складова змістовно-інструментального блоку – апаратна база навчальних лабораторій для фізичного моделювання процесів ґрунтообробки (зміни вологості, щільності, швидкості руху робочих органів з одночасною реєстрацією тягового зусилля й енерговитрат).

Процесуально-алгоритмічний блок передбачає визначення послідовності навчально-пізнавальної діяльності здобувача. Виділяємо п'ять етапів реалізації у навчальному процесі такого виду діяльності.

І-ий етап – цифрове спостереження. Робота з глобальними платформами, наприклад, отримання цифрової характеристики ґрунту через SoilGrids для конкретної ділянки або аналіз морфометрії листка через Petiole Pro.

ІІ-ий етап – експериментальне моделювання. Проведення фізичного експерименту в лабораторії або в полі, де здобувачі самостійно генерують масив первинних даних про взаємодію робочого органу з ґрунтом.

ІІІ-ій етап – математичне моделювання. Формалізація отриманих експериментальних даних, побудова базових математичних залежностей.

ІV-ий етап – інтелектуальний аналіз (AI). Застосування методів машинного навчання до власного або згенерованого масиву даних для виявлення прихованих закономірностей.

V-ий етап – інженерне рішення. Інтерпретація результатів AI-аналізу і визначення раціональних параметрів технологічного процесу (наприклад, оптимальної глибини обробітку за певної вологості ґрунту).

Заключний третій блок – результативний, де кінцевим продуктом реалізації моделі є формування цілісної цифрової інженерної культури. Здобувач набуває здатності працювати в єдиному інформаційному просторі, де біологічні, механічні й цифрові параметри розглядаються як єдиний масив даних для оптимізації виробництва.

Запропонована педагогічна модель інтеграції цифрових платформ та AI дозволяє трансформувати освітній процес аграрних ЗВО з репродуктивного на дослідницький. Перехід від використання готових даних до формування власних експериментальних наборів даних і їх подальшого AI-аналізу забезпечує підготовку фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифровізації аграрного виробництва. Перспективним напрямом подальшого дослідження є створення на базі ЗВО навчально-дослідного цифрового середовища (кіберфізичної системи), де дані про ґрунт, рослини і роботу техніки об’єднуватимуться в єдину інформаційну модель – «цифровий двійник» реального аграрного процесу.

Список використаних джерел

1. Gupta G., Pal S. K. Applications of AI in precision agriculture. *Discover Agriculture*. 2025. Vol. 3. 61. DOI: 10.1007/s44279-025-00220-9.

2. SoilGrids Documentation. Global gridded soil information. ISRIC – World Soil Information : website. URL: https://docs.isric.org/globaldata/soilgrids/SoilGrids_faqs.html.

3. GridScore NEXT. Open-source plant phenotyping app. The James Hutton Institute : website. URL: https://gridscore.hutton.ac.uk.

4. PetiolePro : website. URL: https://research.petiole.pro/?utm_source

5. OneSoil. OneSoil Scouting / OneSoil Web : website. URL: https://help.onesoil.ai/uk/

6. Badgujar, C., Das, S., Figueroa, D. M., & Flippo, D. (2023). Application of Computational Intelligence Methods in Agricultural Soil–Machine Interaction: A Review. Agriculture, 13(2), 357. https://doi.org/10.3390/agriculture13020357.

УДК 377.3:63-057.36

ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСВІТНІ ТРАЄКТОРІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВЕТЕРАНІВ ВІЙНИ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ

Япринець Т. С.
Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Повномасштабна збройна агресія російської федерації проти України зумовила суттєве збільшення кількості ветеранів війни [1] та актуалізувала питання їх повернення до цивільного життя і трудової діяльності. За даними Міністерства у справах ветеранів України, кількість осіб зі статусом учасника бойових дій уже перевищує 1,3 млн, а після завершення війни та демобілізації разом із членами сімей коло осіб, охоплених ветеранською політикою, може становити 5–6 млн [2]. Особливої актуальності проблема їх професійної адаптації набуває в умовах кадрового дефіциту агропромислового сектору, де зростає потреба у працівниках, здатних забезпечувати виконання основних виробничих процесів, технічне обслуговування та ефективне використання ресурсів. Тому залучення ветеранів до аграрної сфери може водночас сприяти їх реінтеграції та задоволенню потреб підприємств у кваліфікованих працівниках. Разом із тим ця категорія здобувачів має специфічні освітні потреби, зумовлені попереднім професійним і військовим досвідом, уже сформованими компетентностями та різними професійними намірами, які традиційна уніфікована організація навчання не завжди дає змогу врахувати. Отже, актуальним є розроблення організаційно-методичних підходів до побудови індивідуальних освітніх траєкторій, які забезпечуватимуть узгодження індивідуальних запитів здобувача з вимогами сучасного агропромислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичне підґрунтя професійної підготовки дорослих становлять концепції неперервної професійної освіти, представлені у працях В. Андрущенка, В. Кременя, С. Ніколаєнка [3], а також андрагогічні принципи навчання, обґрунтовані M. Knowles та співавторами [4]. У межах цих підходів попередній досвід розглядається як важливий ресурс навчання, а зміст і організація освітнього процесу пов’язуються з практичними завданнями, професійними потребами та самостійністю здобувача. Відповідно до Закону України «Про освіту» [5], індивідуальна освітня траєкторія передбачає можливість вибору форм, темпу та змісту навчання з урахуванням можливостей і потреб здобувача. Поєднання положень андрагогіки та принципів побудови індивідуальної освітньої траєкторії формує теоретичну основу персоналізації навчання. Водночас аналіз наукових праць, присвячених професійній адаптації ветеранів, засвідчує переважну увагу до питань психосоціальної реабілітації та соціальної адаптації. Недостатньо розробленими залишаються методичні підходи до побудови індивідуальних освітніх траєкторій

ветеранів, особливо для їх професійної підготовки до діяльності в агропромисловому секторі, де зміст навчання визначається конкретними виробничими функціями, технологіями та вимогами роботодавців.

Мета дослідження – обґрунтувати модель побудови індивідуальної освітньої траєкторії ветеранів війни у професійній підготовці для агропромислового сектору та визначити етапи її реалізації.

Результати дослідження. На засадах андрагогічного, компетентнісного та особистісно орієнтованого підходів розроблено модель побудови індивідуальної освітньої траєкторії ветеранів, що охоплює шість взаємопов'язаних етапів.

Діагностичний етап передбачає визначення вихідного рівня підготовки та професійних орієнтирів здобувача шляхом вхідної співбесіди, аналізу документів про освіту і військово-облікову спеціальність, практичного тестування навичок та врахування медичних рекомендацій. Особливу увагу приділяють виявленню наявних компетентностей, пов'язаних з експлуатацією, технічним обслуговуванням і ремонтом машин та обладнання. Професійні орієнтири можуть охоплювати працевлаштування на сільськогосподарському підприємстві або в сервісній організації, а також започаткування власної справи у сфері технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки.

Валідаційний етап полягає у визнанні результатів неформального та інформального навчання. Для цього використовують процедуру присвоєння (підтвердження) професійної кваліфікації в кваліфікаційних центрах і перезарахування окремих освітніх компонентів у закладі вищої освіти. Наприклад, підтверджені компетентності з експлуатації та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки можуть бути враховані під час визначення обсягу практичної підготовки за відповідним освітнім компонентом.

Проєктувальний етап передбачає формування індивідуального навчального плану з урахуванням результатів діагностики та валідації. До інваріативного ядра належать напрями, пов'язані з безпечними умовами праці, основами агротехнологій, будовою, експлуатацією та технічним обслуговуванням сільськогосподарської техніки. Варіативна частина формується відповідно до професійних цілей здобувача і може охоплювати точне землеробство, цифрові та безпілотні технології, технічний сервіс, організацію технічного забезпечення виробництва та підприємницьку діяльність. Для здобувачів, орієнтованих на започаткування власної справи, доцільно передбачити підготовку бізнес-плану з урахуванням можливостей державної підтримки ветеранського підприємництва.

Реалізаційний етап ґрунтується на гнучких формах організації навчання, що дають змогу поєднувати теоретичну підготовку з практичним опануванням професійних функцій. Передбачається змішане навчання, що поєднує синхронну та асинхронну форми роботи з інтенсивною практичною підготовкою на базі підприємств-партнерів. Освітнє середовище має забезпечувати безбар'єрний доступ до навчання з урахуванням особливостей здобувачів. Важливим засобом реалізації індивідуальної траєкторії є наставництво, зокрема з боку ветеранів, які вже працюють в агропромисловому секторі.

Супровідно-коригувальний етап передбачає психолого-педагогічний супровід та моніторинг навчального прогресу здобувача. За результатами моніторингу, за потреби, коригують темп навчання, послідовність опанування окремих компонентів або форму організації освітнього процесу. Важливою умовою цього етапу є взаємодія закладу вищої освіти з фахівцями із супроводу ветеранів війни, які можуть сприяти узгодженню освітніх потреб здобувача з іншими видами необхідної підтримки.

Підсумковий етап охоплює оцінювання результатів навчання та атестацію, за результатами яких здобувачеві може бути присвоєно відповідну професійну кваліфікацію. Завершальним результатом реалізації індивідуальної траєкторії є створення умов для подальшого працевлаштування в агропромисловому секторі або започаткування власної справи.

Ефективність реалізації моделі значною мірою залежить від готовності науково-педагогічних працівників до роботи з дорослими здобувачами. Вони мають володіти андрагогічною компетентністю, розуміти засади травмочутливого підходу до організації освітнього процесу та будувати взаємодію зі здобувачем на партнерських засадах.

Висновки. Побудова індивідуальних освітніх траєкторій дає змогу узгодити освітні потреби ветеранів війни та їхній попередній професійний і військовий досвід із вимогами агропромислового виробництва. Такий підхід створює передумови для ефективнішого використання вже сформованих компетентностей, уникнення надлишкового дублювання змісту навчання та врахування професійних намірів здобувача і потреб роботодавців. Ключовими умовами ефективності запропонованої моделі є визнання набутих компетентностей, гнучкість змісту і форм навчання, наставництво та готовність педагогів до роботи з дорослими здобувачами.

Список використаних джерел

1. Про статус ветеранів війни, гарантії їх соціального захисту : Закон України від 22.10.1993 № 3551-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3551-12 (дата звернення: 23.09.2026).

2. Міністерство ветеранів: реальний чи символічний орган виконавчої влади. Тиждень.ua. 15.12.2025. URL: https://tyzhden.ua/ministerstvo-veteraniv-realnyj-chy-symvolichnyj-orhan-vykonavchoi-vlady/ (дата звернення: 23.09.2026).

3. Неперервна професійна освіта: філософія, педагогічні парадигми, прогноз / В. П. Андрущенко, І. А. Зязюн, В. Г. Кремень та ін. ; за ред. В. Г. Кременя. Київ : Наукова думка, 2003. 853 с.

4. Knowles M. S., Holton E. F., Swanson R. A. The Adult Learner: The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development. 8th ed. New York : Routledge, 2015.

5. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 23.09.2026).

ЗМІСТ

Адамчук В. В.
ЕКАР – ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК ВІТЧИЗНЯНОГО АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ 6

Булгаков В. М., Ружило З. В.
АКАДЕМІК ПЕТРО ВАСИЛЕНКО – НЕВІДОМІ СТОРІНКИ БІОГРАФІЇ 9

Ружило З. В.
ТЕОРІЯ РУХУ БУЛЬБИ КАРТОПЛІ ПО ОЧИСНИМ СПІРАЛЯМ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА РЕШТОК 14

Калетнік Г. М., Цуркан О. В.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ 17

СЕКЦІЯ «СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ»

Бабич Я. В., Чумак М. В.
ТЕХНОЛОГІЧНА АДАПТИВНІСТЬ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА BEDNAR TERRALAND TN ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ 20

Борак К. В., Куликівський В. Л., Хмельовський Р. А.
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІЙСЬКОВИХ НРК ДЛЯ РОБОТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ В АГРАРНІЙ ГАЛУЗІ 22

Горюнов Б. О.
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОБОТИЗОВАНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ 25

Ковбаса В. П.
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ҐРУНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТА РУХОВИМИ МЕХАНІЗМАМИ 28

Дорошенко С. В., Бабич Я. В., Чумак М. В.
ВИКОРИСТАННЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СІЛЬСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЯК ФАКТОР СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОБІЗНЕСУ 33

Кувачов В. П.
КРИТЕРІЙ ЕКСПРЕС-ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З КОЛІСНИМ РУШІЄМ 37

Мартинюк В. В.
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ РУХУ КОРЕНЕПЛОДУ СТОЛОВОГО БУРЯКА КРУГЛОЇ ФОРМИ ПО ПОВЕРХНІ СПІРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА 40

Мацуєв О. М.
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСТКИ КОРЕНЕПЛОДІВ СТОЛОВОЇ МОРКВИ СПІРАЛЬНИМ ОЧИСНИКОМ 43

Міненко С. В., Гетьман В. О.
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМБІНОВАНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ 46

Налобіна О. О., Голотюк М. В.
ВПЛИВ БУКСУВАННЯ КОЛІС ТРАКТОРА НА СТАН ҐРУНТУ 49

Опара Н. М.
ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ В УКРАЇНІ 51

Погорілий С. П., Мірний В. Ю.
ОЦІНЮВАННЯ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ МЕЗ-115 «АВТОТРАКТОР» У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ 54

Поліщук Д. С.
ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СХЕМ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛІДНИХ КУЛЬТУР 56

Прілєпо Н. В.
СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕФОРМОВАНОГО КОЛЕСА З ҐРУНТОМ 58

Теслюк В. В., Вечера О. М., Ікальчик М. І.
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ 62

Троханяк О. М.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГНУЧКОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ПІД ЧАС ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЧИЩЕНОГО ПОШКОДЖЕНОГО ҐРУНТУ З СЕРЕДИНИ ВИРВИ 64

ПРОБЛЕМНА СЕКЦІЯ «ОРАНКА» / «STRIP-TILL»

Білоус М. М., Виговський А. Ю.
УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ У ЗМІННИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ 66

Виговський А. Ю., Ковальчук В. С.
ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЛІСОВИХ ПЛУГІВ НА ЛІСОКУЛЬТУРНИХ ДІЛЯНКАХ 69

Лещенко С. М.
ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ЗА УМОВ ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ 71

Шевченко С. М., Сокол С. П.
АГРОТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОРАНКИ В ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІЙ СИСТЕМІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ 74

СЕКЦІЯ «МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, РОБОЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА»

Pankova O. V.. Asghar T., Chen M., Chervinskyi L.
SEED VITALITY AS A FUNCTION OF THE EFFECT OF RED-RANGE OPTICAL RADIATION ON THE PHYTOCHROME SYSTEM 77

Алієва О. Ю., Алієв Е. Б., Черній О. А.
ВИПРОБУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ФЕНОТИПУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ 79

Альпідовський В. В., Горбенко О. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ УМОВ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ 82

Артемов М. П., Макаренко М. Г.
КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ МТА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАФІВ ЗВ'ЯЗКІВ ТА КЛАСИЧНОЇ МЕХАНІКИ ЛАГРАНЖА 85

Viktor Baranovsky, Viktor Tesliuk, Volodymyr Onyshchenko
ENERGY EFFICIENCY OF THE ROOT CROP TOP-HARVESTING PROCESS 88

Біловод О. І., Макар О. З.
ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДИСКОВОЇ БОРОНИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ 91

Білокінь Я. В.
МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ РИЦИНИ 94

Білоус М. М., Щербак А. А.
НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЛІСОВИХ ПЛУГІВ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ПЕРЕЗВОЛОЖЕНИХ ҐРУНТІВ 97

Бурсова М. А., Олійник І. І.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕСУРСОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В РОСЛИННИЦТВІ 99

Васильковська К. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПОННОЇ УСТАНОВКИ ПЕРІОДИЧНОГО ЗАТОПЛЕННЯ 103

Вечера О. М., Теслюк Б. В.
МОДИФІКАЦІЯ ІНЕРЦІЙНО-ФРИКЦІЙНОГО ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ 106

Виговський А. Ю., Білоус М. М.
АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЛІСОГОСПОДАРСЬКИХ ЗНАРЯДЬ ІЗ ДИСКОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ 109

Вільховий О. В., Іваницький В. О., Бурлака О. А.
ІННОВАЦІЙНІ СКЛАДОВІ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР 111

Волик Д. А., Попадюк І. С.
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗСІТКОВОЇ DEM-МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ОКРЕМОЇ ЗЕРНІВКИ ТА ПОТОКУ ЗЕРНА В ВІБРОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ 115

Волянський М. С., Лавріненко О. Т., Гуменюк Ю. О., Гаркуша Н. М.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ FENDT VARIO ТА JOHN DEERE AUTOPOWR 118

Волянський М. С., Гаркуша Н. М.
РЕАЛЬНІ ПРОЦЕСИ РОБОТИ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИМ НАСОСОМ: НОВЕ СХЕМАТИЧНЕ РІШЕННЯ 120

Григоренко Н. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ ЗАВАНТАЖЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА 122

Гринь В. І., Дробот А. І.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ MINI-TILL У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ 125

Гроза Т. В., Литвиненко В. М.
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ ҐРУНТУ 129

Гроза Т. В., Яковенко М. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ РУХУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОМБАЙНУВАННЯ 133

Грудовий Р. С., Писов В. С.
СУЧАСНІ СПОСОБИ ЗБЕРІГАННЯ КАРТОПЛІ 137

Гузь В. Ю.
АКТУАЛЬНІСТЬ ТА СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОФІЛЮ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ 140

Дерев'янко Д. А., Вазінський В. І., Хоменко С. М., Мельник О. П., Шевчук О. А.
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА КОЛІСНОГО ТА ГУСЕНИЧНОГО РУШІЇВ ТРАКТОРА КЛАСУ 1.4 143

Деркач І. О., Деркач О. П., Мартишко В. М.
ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТЕРІВ ЖАТКИ СТРІЧКОВОГО ТИПУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА 145

Журавель Д. П., Дідур В. В.
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ NEXAT В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР 148

Дорошенко С. В., Яценко Ю. В., Чумак М. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАПОБІЖНОГО ПРИСТРОЮ 151

Дрожчана О. У., Бабенко Р. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ 155

Дудник В. В., Дорошенко С. В., Кибкало В. О.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА 158

Дудник В. В., Кульбака Д. Р.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКОШУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РІЖУЧОГО АПАРАТУ 161

Дудник В. В., Таранень Є. М., Дудник Д. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПОЧАТКІВ НАСІННЄВОЇ КУКУРУДЗИ 164

Єременко О. І., Войналович О. В., Олексієнко Д. О.
АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЕЛЕТ В ЗАВЕРШАЛЬНІЙ ФАЗІ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ВИРОБНИЦТВА 167

Золотовська О. В., Теслюк Г. В., Смоляков В. Г.
СУЧАСНІ ПОСІВНІ МАШИНИ: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ 170

Зубко В. М., Боровик О. Ю.
ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ РОЗКИДАЧІВ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ТА МЕТОДИКА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ 173

Івашина Ю. М., Сіренко Ю. В., Калнагуз О. М.
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН 176

Ісаєнко Я. О.
ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН 179

Келемеш А. О., Ляшенко С. С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ ТА ЯКІСТЬ ГОТОВОГО КОМПОСТУ 182

Келемеш А. О., Подоба О. С., Сьомкін В. С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПРУЖИННОГО ЗУБА ШТРИГЕЛЬНОЇ БОРОНИ НА ЯКІСТЬ ПІСЛЯСХОДОВОГО БОРОНУВАННЯ 187

Келемеш А. О., Федотченко П. Ю., Чебан Е. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖИННОГО ЗУБА ШТРИГЕЛЬНОЇ БОРОНИ ПРИ ЙОГО ПОПЕРЕЧНОМУ ВІДХИЛЕННІ 191

Ковязін О. С., Паніотов М. М., Чижиков І. О.
ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ ЛОПАТКИ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗСІЮВАЧА ГРАНУЛЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ: КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ 194

Колесніченко І. А.
ВОЛОГОТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ РИЦИНИ В УМОВАХ ДВОЧАННОЇ ПАРОВОЇ ЖАРОВНІ ПРИ ОТРИМАННІ КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ ПЕРШОГО ПРЕСУВАННЯ: ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК 197

Борак К. В., Заєць М. Л., Корінчук Д. В.
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН 200

Кошова К. К., Попов С. В.
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕРУХОМИХ ҐРУНТОЗАЧЕПІВ У СКЛАДІ ГУСЕНИЧНИХ РУШІЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН 203

Крушельницький В. В., Чеботаєв І. А.
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ 206

Кузьмич А. Я., Степаненко С. П.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОЇ 208

Куликівський В. Л., Олішевський П. С.
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СІВБИ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР 211

Куліков О. А.
ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ОРАНКА З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ГЛИБИНИ РОДЮЧОГО ШАРУ ҐРУНТУ 214

Бурлака О. А., Лазоренко А. І.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОВШОВОЇ НОРІЇ ЕЛЕВАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ 215

Лапенко Г. О., Лапенко Т. Г., Білашов Д. Ю.
ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОТЛІВ НА БІОМАСІ 219

Лисенко О. А.
АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОСІВНИХ МАШИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В СИСТЕМІ PRECISION PLANTING 222

Ляшенко С. В., Ситник О. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 225

Ляшенко С. В., Яценко В. Ю.
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РІЗАННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ ДИСКОВО-РІЗАЛЬНИМИ МАШИНАМИ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ 230

Ляшенко С. В., Власенко Ю. Е.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖАТОК ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ УРОЖАЮ 233

Ляшенко С. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИННО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У РОСЛИННИЦТВІ НА ОСНОВІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ТА МІНІМІЗАЦІЇ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ 237

Макаров В. І., Паньків М. Р.
АНАЛІЗ ПОТОКУ МАТЕРІАЛІВ В ШНЕКОВОМУ КОНВЕЄРІ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ 242

Заєць М. Л., Макарчук О. О.
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПОШКОДЖЕННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ПІД ЧАС ОБМОЛОТУ 245

Мартишко В. М., Гуменюк Ю. О., Деркач О. П.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В КОНТЕЙНЕРАХ ДЛЯ ПОТОКОВОГО ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ 248

Мартишко В. М., Кривобок В. В., Деркач О. П.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО МУЛЬЧУВАННЯ ҐРУНТУ КОМБІНОВАНИМИ ЩІЛЮВАЧАМИ-УДОБРЮВАЧАМИ 251

Борак К. В., Махов О. А.
МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ЛЕМІШНО-ЛАПОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН 254

Мельник В. І., Зеленський А. П., Зеленський О. П., Зеленська М. А.
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОБОТИ ВИСІВНОГО АПАРАТУ 257

Мельник В. І., Зеленський О. П., Зеленський А. П., Зеленська М. А.
РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНОГО ДИСКА 260

Мороз Р. В., Петриченко Є. А.
АНАЛІЗ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБАЙНА NEXAT: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ 263

Хворост Т. В., Омельченко Є. М.
АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЗБИРАННЯ ТЮКІВ СОЛОМИ 267

Курило А. Ю., Левченко Ю. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОДРОБАРКИ 269

Онищенко Б. В., Онищенко В. Б., Теслюк В. В., Ратушний В. В., Ачкевич О. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПНЕВМАТЧНОЇ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ 273

Войтюк Д. Г., Онищенко Б. В., Онищенко В. Б., Теслюк В. В., Ачкевич В. І.
АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ОБПРИСКУВАЧА HARDI NAVIGATOR EAGLE 3000L 24M 274

Падалка В. В, Горбенко О. В.
ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА ОСНОВНИМИ ЕКОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ (ДОСВІД ПП «АГРОЕКОЛОГІЯ», УКРАЇНА) 278

Бурбига Є., Падалка В. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЧІПНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТІВ 281

Падалка В. В., Горбенко О.В., Чумак М. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ ГАРМОНІЙНИХ КОЛИВАНЬ ЗНАРЯДДЯ З НЕЗАЛЕЖНИМ КРІПЛЕННЯМ ТА ДВОМА ОПОРНИМИ КОТКАМИ ДЛЯ МАШИН РОСЛИННИЦТВА 283

Сердюк І., Падалка В. В.
МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ 287

Слизький А., Падалка В. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ В ТЕХНОЛОГІЯХ БІОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА 290

Цюпа О., Падалка В.В.
УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ ДОВАНТАЖУВАЛЬНО-ПЕРЕРОЗПОДІЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ ВУЗЛА ЗЧЕПЛЕННЯ 292

Паньків М. Р., Паньків В. Р., Дубчак Н. А.
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОЧИСНИХ МОДУЛІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН 296

Петренко Д. І., Біліценко І. О.
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОГО ТИПУ 299

Попов С. В., Канівець О. В.
КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ ТА КОМПАКТУВАННЯ ЗАЛИШКІВ ОПТОВОЛОКНА ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ 303

Ратушний В. В., Вітрух П. І., Косовець Ю. В., Онищенко В. Б.
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТОВЩИНИ ШАРУ ПРЕПАРАТИВНОЇ КОМПОЗИЦІЇ НА ПОВЕРХНІ НАСІНИНИ 309

Ратушний В. В., Вітрух П. І., Косовець Ю. В., Онищенко В. Б.
ВПЛИВ НОРМИ НАНЕСЕННЯ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО ДІАМЕТРА НА ТОВЩИНУ ПОКРИТТЯ НАСІННЯ 312

Рожко І. І., Кулик М. І.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР 315

Борак К. В., Руденко В. Г., Мельник О. П.
МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ ДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК 318

Руткевич В. С., Кажуро М. П.
ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗКИДАЧА ДОБРИВ ЗА РАХУНОК ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ 322

Савченко В. М., Чумальчук А. Р.
РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ ОГІРКА В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ 325

Савченко В. М., Антоненко Є. М.
ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СПРЯЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН 327

Сайчук О. В., Захаров А. В., Боровик О. Ю.
СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНОСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ 330

Соболєва М. В., Тіхонов О. В.
ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КЕРАМІКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ 333

Зубко В. М., Соколік С. П.
ОБГРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ ШИН ТА ВЕЛИЧИНИ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАПРУГИ В ЗОНІ КОНТАКТУ З ҐРУНТОМ 336

Степаненко С. П., Мельник В. А.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ 339

Тарасенко Д. С.
ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛІУРЕТАНОВОГО ФУТЕРУВАННЯ КУЗОВА ПРИЧЕПА ПІД ЧАС ЗАВАНТАЖЕННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ 342

Телятник І. А.
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ 346

Теслюк Г. В., Беліков М. Ю.
ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ КАРТОПЛЕСАДЖАЛОК ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ ТРАКТОРІВ 348

Барановський В. М., Теслюк В. В., Онищенко Б. В.
ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ ВАЖКИХ ГРУНТІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ 351

Савченко В. М., Тисько Д. І.
ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ АЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ 354

Троханяк О. М.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТУ СПРАЦЮВАННЯ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА 357

Olena Trukhanska, Maksym Hadaichuk
METHODOLOGY FOR CONDUCTING FIELD EXPERIMENTAL STUDIES OF A COMBINED CHICORY ROOT DIGGER 360

Борак К. В., Герук С. М., Хоменко С. М., Фролова О. М.
ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ШИН ЗДВОЄНИХ КОЛІС НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ 363

Чепіжний А. В., Зубко В. М.
ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТОЗАЧЕПІВ ШИН АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ НА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВЗАЄМОДІЮ КОЛІСНОГО РУШІЯ З ГРУНТОМ 366

Швидя В. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ 368

Савченко В. М., Шепель О. В.
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ ТА ВНЕСЕННЯ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ 371

СЕКЦІЯ «МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, РОБОЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА»

Skliar R., Skliar O., Boltianskyi B.
TECHNOLOGICAL AND AGRONOMIC ASPECTS OF THE PRODUCTION AND USE OF PELLETIZED POULTRY MANURE 374

Алієв Е. Б., Пономаренко Р. Г.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ У Y-ПОДІБНОМУ ЗМІШУВАЧІ 377

Ачкевич О., Романченко В.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ НА ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМАХ 380

Войналович О. В., Хмельовський В. С., Єременко О. І., Мотрич М. М., Потапова С. Є.
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕК І ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ НА МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ У ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ 382

Заболотько О. О.
РЕКОНСТРУКЦІЇ МОЛОЧНО-ТОВАРНОЇ ФЕРМИ ЗА СПОСОБАМИ УТРИМАННЯ 384

Калнагуз О. М., Сіренко Ю. В.
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ТЕХНОЛОГІЙ ТВАРИННИЦТВА У ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ 387

Ковязін О. С., Дереза С. В., Дереза О. О.
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВО-ПОВІТРЯНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ У СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ 391

Куликівський В. Л., Хоменко С. М.
ВПЛИВ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОДАЧІ СИРОВИНИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЕКСТРУДЕРА 394

Куликівський В. Л., Бережницький М. В.
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МОЛОЧНОГО НАСОСА 396

Купчук І. М.
МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПОРІВНЯЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ 399

Ляшенко С. В., Безлунний Р. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА 403

Борак К. В., Нелепін І. О.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СИЛОСУВАННЯ КОРМІВ У КОНТЕЙНЕРАХ 408

Носенко Є. О.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДІЙКОВОЇ ГУМИ 411

Хохуля Є., Падалка В. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОРМОПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА 414

Савченко В. М., Савін Н. Л.
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПЕРВИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА 416

Скляр О. Г., Скляр Р. В.
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС У КОНСТРУКЦІЯХ МОБІЛЬНИХ І САМОХІДНИХ КОРМОРОЗДАВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ 419

Хмельовський В. С.
ПРИГОТУВАННЯ КОРМОВОЇ СУМІШІ ДЛЯ ВРХ У АВТОМАТИЗОВАНИХ КОРМОЦЕХАХ 422

Холодюк О. В., Кузьменко В. Ф.
КРУТНИЙ МОМЕНТ НА ЖИВИЛЬНОМУ РОТОРІ БІТЕРНО-НОЖОВОГО АПАРАТА У ПРОЦЕСІ СТИСНЕННЯ ТРАВЯНОЇ МАСИ 423

СЕКЦІЯ «СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ, ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС»

Nataliia Priliepo, Kostiantyn Popov
PROSPECTS FOR DEVELOPING AN AUTONOMOUS UAV CHARGING AND ATTACHMENT SYSTEM FOR POWER TRANSMISSION LINE INSPECTION 427

Алфьоров О., Каграманян А.
КЕРУВАННЯ НАДІЙНІСТЮ ВІДМОВОСТІЙКИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ 429

Бабич Я. В., Мартиненко О. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА 432

Бабич Я. В., Жадан І. В.
ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ 435

Бабич Я. В., Московець Ю. В.
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН У СИСТЕМІ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА 437

Бурсова М. А.
КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ 439

Вертелецький І. В., Горбенко О. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ СЕЗОННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ 443

Вечера О. М., Теслюк Б. В., Куянов В. В.
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН 446

Борак К. В., Герук С. М., Глушаниця О. В.
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗГАЛЬМІВНОЇ ОБКАТКИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПІСЛЯ РЕМОНТУ 449

Гончаренко О. О., Мамедов М. Р., Антощенков Р. В., Ярошенко Б. М.
ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ТЕРМОПРУЖНОПЛАСТИЧНОМУ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН 452

Горюнов Б. О., Титаренко В. Є.
ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ НАПЛАВЛЕНИХ ПОКРИТТІВ 456

Горюнов Б. О.
КОНЦЕПЦІЯ ПРЕДИКТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН НА ОСНОВІ ДАНИХ БОРТОВИХ СИСТЕМ 459

Горюнов Б. О., Борова Я. О.
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН 462

Гречка Є. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОЦИЛІНДРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ 464

Дацюк Д. А.
ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНОЇ ДВОФАЗНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ В ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ДВИГУНІ 468

Денисенко М. І., Дев'ятко О. С.
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВУЗЛІВ, АГРЕГАТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН І АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ 471

Іванкова О. В., Алфьоров О. О., Дремлюженко О. М.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК МЕТОДОМ РОЗДАЧІ 474

Калнагуз О. М., Сіренко Ю. В.
ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГРОСИСТЕМ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР 476

Келемеш А. О., Ляшенко С. В., Бурлака О. А.
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР 479

Лукавий Є. С., Тіхонов О. В.
МОДИФІКУВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАЗМОВОЮ ОБРОБКОЮ 482

Ляшенко С. В., Вісіч О. В.
ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА БЕЗПІЛОТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМУ SMART FARMING 486

Ляшенко С. В., Колесніченко А. А.
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СЕРВІСНОГО СУПРОВОДУ ТРАКТОРІВ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ 491

Ляшенко С. В., Русаков М. Р.
ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ТРАКТОРІВ JOHN DEERE 494

Ляшенко С. В., Ярчевський В. А.
ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПОВНОТИ ЗАГОРТАННЯ РОСЛИННОЇ МАСИ У ҐРУНТ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА ТА МАШИННОГО ЗОРУ 496

Бундза О. З., Михайлов А. О., Змієвська О. Г.
СУЧАСНІ МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ ТА НАПРЯМИ ЇХ РОЗВИТКУ 500

Голотюк М. В., Михайлов А. О.
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГУСЕНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ТОЧКОВОГО ОБПРИСКУВАННЯ БУР'ЯНІВ 502

Назарук Р. І., Заєць М. Л.
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ПОЛЬОВИХ АГРЕГАТІВ ІЗ ПОВНОКЕРОВАНОЮ КОЛІСНОЮ СИСТЕМОЮ 505

Невмержицький Т. В.
ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ОПЕРАТОРА ТА ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В АГРАРНИХ МАШИНАХ 508

Некрутенко О. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ 511

Дерев'янко Д. А., Остапенко А. П., Хоменко С. М., Шевчук О. А.
АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ 514

Паладійчук Ю. Б.
РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНЕ КОМБІНОВАНЕ ПРОТЯГУВАННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ІЗ ФОРМУВАННЯМ МАКРОРЕЛЬЄФУ 517

Пилипака Т. С., Валецька О. В., Ювчик Н. О.
СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВОДІННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У ТОЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ 519

Пятодверний С. В., Тіхонов О. В.
ПОВЕРХНЕВЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ КОРПУСІВ ПЛАСТИНЧАСТО-РОТОРНИХ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ 521

Дерев'янко Д. А., Тарнавський М. І.
ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН 524

Борак К. В., Умінський О. В.
МЕХАНІЗМ ТА ХАРАКТЕР АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ЗУБІВ КОВША ЕКСКАВАТОРА 527

Федін В. О., Підгорний Я. В., Очнєв О. В.
АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЗНОШУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВТУЛОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ 530

Халін С. В., Сербій В. К., Гайдай Т. В.
ДИНАМОМЕТРИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ. НОВІ МОЖЛИВОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ БАЗИ УКРНДІПВТ ІМ. Л. ПОГОРІЛОГО 534

Борак К. В., Сидорчук-Шмідт С. Д.
ТРИБОТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ПАЛЬЦІВ СТРІЛИ ЕКСКАВАТОРА 539

Якимович О. О., Рибалко І. М.
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ 542

СЕКЦІЯ «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛОГІСТИКА»

Антощенков Р. В., Лавренко В. В., Гончаренко О. О.
СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ В АТП 545

Берючов В. Ю., Бурлака О. А.
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ. МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ 548

Бурлака О. А., Капустянська І. В., Лінський С. В.
ВІДНОВЛЕННЯ БРОНЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ ТИПУ «НШ» 552

Гончаренко О. О., Лавренко В. В., Яценко Ю. В., Антощенков Р. В.
ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПОСТАЧАННЯ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН У СИСТЕМІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ 556

Гончаренко О. О., Лісовол М. С., Малєєв І. В., Мамедов М. Р.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТРАНСМІСІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ 560

Горик О. В., Брикун О. М.
НАУКОВІ ЗДОБУТКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ 563

Горюнов Б. О., Ткаченко В. В.
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 566

Гученко С. О., Максименко О. О., Палій О. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДВИГУНА DAF XF 430 568

Дорошенко С. В., Курелех М. В.
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ГІДРОЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНО-ТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ 571

Дорошенко С. В., Дудник В. В., Бабич Я. В.
ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС, НАДІЙНІСТЬ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ 575

Загурський О. М.
КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РИЗИКУ НЕЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ ПРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ 577

Іванкова О. В., Рамазанов Т. Д., Никоненко С. Ю.
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО НАРОЩУВАННЯ 580

Келемеш А. О., Дорошенко С. В., Бєлозоря Ю. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ 583

Курелех М. В., Бурлака О. А.
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОМОБІЛЕЙ КРАЗ-65053 587

Лапенко Т. Г., Лапенко Г. О., Ярошенко О. О.
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ І СПРЯЖЕНЬ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНІВ 592

Лапенко Т. Г., Картавцев М. С.
УДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДОВИХ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ 594

Лапенко Т. Г., Пітель А. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СКЛАДОВИХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ПРИКЛАДІ DAYUN CGC1331 З КМУ НІАВ X-CL 16 В-2 599

Ляшенко С. В., Картавцев М. С.
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА НАПРЯМИ ЙОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ 603

Ляшенко С. В., Ярошенко О. О.
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ 606

Ляшенко С. В., Хохола Т. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗНОШУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ 610

Мальченко Д. Д., Горбенко О. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ БЕЗЦЕНТРОВОГО АЛМАЗНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ 614

Омельницький О. Є.
ГОЛОВНІ НОВИНКИ ТА ТРЕНДИ ВАНТАЖНОЇ АВТОТЕХНІКИ ЗА ПІДСУМКАМИ 2026 РОКУ 616

Опалко В. Г.
ЗЕРНОВА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ: ЗБЕРІГАННЯ ТА РОЗПОДІЛ ВАНТАЖОПОТОКІВ 618

Опалко В. Г.
СИСТЕМНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБИРАННЯ ТА ПЕРЕВЕЗЕННЯ УРОЖАЮ ЗЕРНОВИХ 621

Рамазанов Т. Д., Лавренко В. В., Палій О. О.
ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ 625

Савченко Л. А.
РЕСУРСОМІСТКІСТЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЯК КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ МАШИН ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ 627

Стороженко Я. О., Горбенко О. В.
ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ 630

Ступка В. О., Лавренко В. В.
ВПЛИВ ЯКОСТІ ПАЛЬНОГО НА РОБОТУ ДВИГУНА 633

Ткаченко В. В., Коробка Д. А., Лавренко В. В.
ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ НА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ 635

Харак Р. М., Бабенко В. В., Соколовський С. Ю.
ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК НА ПАРАМЕТРИ ПАЛИВОПОДАЧІ АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ 637

Шулятицький Н. І.
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ ПАЛИВНО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО НАВАНТАЖУВАЧА 639

СЕКЦІЯ «ІСТОРІЯ АГРАРНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ»

Бабич Я. В.
СТАНОВЛЕННЯ АГРАРНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ НА ПОЛТАВЩИНІ: ІСТОРИЧНИЙ ДОСВІД ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ 642

Лапенко Г. О., Ляшенко С. В., Горбенко О. В., Лапенко Т. Г., Лазоренко А. І.
60-РІЧЧЯ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАЛІВ ТА ІНШИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ. ІСТОРІЯ, ДОСЯГНЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ 644

Опара Н. М.
ВНЕСОК УРОДЖЕНЦІВ ПОЛТАВЩИНИ В ІНЖЕНЕРНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ АПК УКРАЇНИ 655

Ямков О. В.
КАМІЛЛ ШИНДЛЕР: ПОВЕРНЕННЯ В УКРАЇНУ 658

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

Ковальов М. М.
ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ АДАПТИВНИХ СВІТЛОДІОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДУЛІВ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ 661

Мартиненко В. О.
ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА НАПІВПРОЗОРОГО СОНЯЧНОГО СКЛІННЯ НАВЧАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ АГРАРНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ 664

Ачкевич О., Романченко В.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ НА ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМАХ 667

Барсукова Г. В., Барсуков Р. С.
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ MICROGRID-МЕРЕЖІ АГРОПІДПРИЄМСТВА З ВИСОКОЮ ЧАСТКОЮ ВДЕ 669

Басова Ю. О., Негребецкий І. С.
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ 672

Басова Ю. О., Бичков Я. М.
ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ВІД КОЛИВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО ІЕС 675

Басова Ю. О., Покладенко К. В., Неводнича К. О.
ОГЛЯД ТА ГАРМОНІЗАЦІЯ МІЖНАРОДНОЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ 678

Бичков Я. М., Гордієнко О. О.
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК ТА ФОРМИ НАПРУГИ ПОБУТОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ НА НАДІЙНІСТЬ І БЕЗПЕКУ ЖИВЛЕННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ 680

Вахоніна Л. В.
ВПЛИВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ЗМІЩЕННЯ ДІЛЯНОК РОТОРА НА ГАРМОНІЧНІ ЕЛЕКТРОРУШІЙНІ СИЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА 682

Барсукова Г. В., Горбась В. М., Барсуков Р. С.
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА В ІННОВАЦІЙНОМУ МОДУЛІ ПЕРЕРОБКИ НА БАЗІ ВІВАРІЮ 685

Горюнов Б. О.
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ 688

Степаненко С. П., Котов Б. І.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРЯНОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАЧА 691

Попов С. В., Бурич В. Р.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СХЕМИ З'ЄДНАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТА ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НАВЧАЛЬНОГО STEM-КОМПЛЕКТУ 694

Мардзявко В. А., Руденко А. Ю.
ЕЛЕКТРОПЛАЗМОЛІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ: ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОД ЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ КЛІТИННОЇ СТРУКТУРИ 698

Семенов А. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ БАКТЕРИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТРАНСПОРТУВАЛЬНОЇ ТАРИ 702

Барсукова Г. В., Сіренко Ю. В.
АНАЛІЗ ОСТАННІХ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК 704

Ставинський А. А.
СТІЙКІСТЬ НАНОКОМПОЗИТНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ЗА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ АГРОПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ 708

Степаненко С. П., Калініченко Р. А.
МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИХ ПОЛІВ ЗЕРНА ПІД ЧАС ІНФРАЧЕРВОНОЇ ОБРОБКИ 710

Таран А. В.
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК СКЛАДОВА ЦИФРОВІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 713

Юрченко О. Ю., Майборода О. В., Приходько О. М.
ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ 715

Юрченко О. Ю., Приходько О. М., Майборода О. В.
ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПРЕСОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 717

Юрченко О. Ю., Щербак Н. М.
ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СІП ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ 719

СЕКЦІЯ «МЕХАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ»

Дерев'янко Д. А., Боженко О. С., Хоменко С. М., Веремій Т. Б., Федорчук А. О.
ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ 721

Боровик В. Ю., Канівець О. В.
АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МОЛОТКІВ ЗЕРНОДРОБАРОК 724

Вовк В. О.
ПАРАМЕТРИ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ НАСІННЯ 727

Волинець Є. О.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ 730

Куликівський В. Л., Гришкун Д. П., Хоменко С. М.
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТРАДИЦІЙНИХ ТА ОЗОНОВИХ МЕТОДІВ ДЕЗІНСЕКЦІЇ ЗЕРНА 733

Дідик А. М.
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ У ВІБРАЦІЙНІЙ МАШИНІ 735

Змієвська О. Г., Тоненчук Є. П., Козік Н. М.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ВІД ДОМІШОК НА РИФЛЕНИХ ОПОРНИХ ПОВЕРХНЯХ 739

Іванов О. М.
ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНОСУШАРОК ШАХТНОГО ТИПУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ 742

Борак К. В., Герук С. М., Хоменко С. М., Іщенко Т. С.
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ В МОДУЛЬНИХ СУШАРКАХ 745

Кришко М. В., Васильковський О. М.
АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУННОГО РЕШЕТА 748

Липницький Р. М.
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО МЛИНА ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ 751

Крючок О. Є., Левченко Ю. В.
ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПОВНОЦІННОГО ЗЕРНА ПІД ЧАС ТРІЄРНОГО ОЧИЩЕННЯ 754

Ніщаков І. В.
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ МІКРОНІЗОВАНОГО ЗЕРНА СОЇ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКЦІЙНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ МЛИНА 757

Попов С. В., Боровик В. Ю.
ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПИТОМУ ЕНЕРГОЄМНІСТЬ МОЛОТКОВОГО ПОДРІБНЕННЯ 760

Присяжнюк Д. В., Горбатюк Р. М.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЗОНУВАННЯ ТЕПЛОНОСІЯ 764

Самілик М. М., Нагорний Я. В.
ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ КІНОА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА 766

Спірін А. В.
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ ДЛЯ ОБРОБІТКУ НІШЕВИХ КУЛЬТУР 769

Степаненко С. П.
ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗОРУ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПЕРЕРОБЦІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ 772

Шейченко В.О., Шейченко Д.В., Макаєв В.І., Петраченко Д.О.,
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ ЯК ОСНОВА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ 775

Ступак Б. В., Бурлака О. А.
ВПЛИВ ШВИДКОСТІ СТРІЧКИ НА ДИНАМІКУ ВІДЦЕНТРОВО-ГРАВІТАЦІЙНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ НАСІННЯ В КОВШОВІЙ НОРІЇ НФ-1 777

Цуркан О. В.
ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО СУШІННЯ КВАСОЛІ 781

СЕКЦІЯ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА ТА ІНЖЕНЕРНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА»

Антонець А. В.
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН ЗДОБУВАЧАМИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ 783

Базилівська К. В.
ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНО-ТЕРМІНОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ АГРОІНЖЕНЕРІЯ 786

Войтюк Д. Г., Волянський М. С.
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДГОТОВКИ АГРАРНИХ ФАХІВЦІВ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА УКРАЇНИ 790

Горюнов Б. О.
ЕВОЛЮЦІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ СКЛАДОВОЇ АГРАРНОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ: ВІД МЕХАНІЗАЦІЇ ДО ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА 792

Джеджула О. М.
ВИКОРИСТАННЯ CAD-СИСТЕМ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА 794

Дударь Н. І.
РОЛЬ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА» В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ 798

Канівець І. М., Канівець О. В.
ЦИНФРОВІЗАЦІЯ ТА STEM-ОСВІТА В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА 799

Kudriavtsev I. M., Kudriavtsev M. I., Melnyk S. M.
DESIGN CONCEPT IN THE ENGINEERING OF EQUIPMENT FOR SUNFLOWER WASTE PROCESSING 802

Курепін В. М.
КОМПЕТЕНТНІСНО ОРІЄНТОВАНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА 805

Новицька Л. І.
СТУДЕНТОЦЕНТРОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ АГРОІНЖЕНЕРІВ 808

Овсієнко Ю. І., Рижкова Т. Ю.
МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ IoT ТА БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ 811

Попов С. В., Біленко В. О.
ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ НАВЧАЛЬНОГО STEM-КОМПЛЕКТУ 814

Попов С. В., Макар О. З.
ВИКОРИСТАННЯ ДІЮЧОЇ НАВЧАЛЬНОЇ STEM-МОДЕЛІ В ІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ 818

Попов С. В., Твердохліб М. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОГО ФРЕЗЕРНОГО ІНСТРУМЕНТУ 821

Рижкова Т. Ю., Овсієнко Ю. І.
ПЕДАГОГІЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ТА АІ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС АГРАРНИХ ЗВО 827

Япринець Т. С.
ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСВІТНІ ТРАЄКТОРІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВЕТЕРАНІВ ВІЙНИ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ 830

ISBN 978-617-8797-65-2

Електронне наукове видання

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XXVII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«Сучасні проблеми землеробської механіки»
(16-17 жовтня 2026 року),
присвяченої 126-ій річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 60-ій річниці інженерно-технологічного факультету ПДАУ

Відповідальні за випуск і комп'ютерну верстку:
Ю. В. Левченко – доцент кафедри механічної та електричної інженерії Полтавського державного аграрного університету;
С. В. Попов – завідувач кафедри механічної та електричної інженерії Полтавського державного аграрного університету.

Видавець:
Полтавський державний аграрний університет,
редакційно-видавничий відділ.
ПДАУ, навчальний корпус 4, 1-й поверх,
вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 2174 від 26.04.2005 р.

© ПДАУ, 2026