

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XIII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
119-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***19-20 лютого 2026 року  
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE  
STATE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XIII International Scientific and Technical Conference  
dedicated to the 119th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
**KRAMAROV**  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 19-20, 2020  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 119-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 19-20 лют. 2026 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2026. 442 с.

Proceeding of the XIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 119th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 19–20, 2026, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2026. 442 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

**Вадим ТКАЧУК** – ректор НУБіП України, голова організаційного комітету;

**Оксана ТОНХА** – проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;

**Іван РОГОВСЬКИЙ** – декан факультету конструювання та дизайну НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;

**Зіновій РУЖИЛО** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;

**Валентина МЕЛЬНИК** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України, секретар організаційного комітету;

### **Члени організаційного комітету:**

**Анатолій АВТУХОВ** – завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;

**Валерій АДАМЧУК** – директор «ІМА АПВ НААН», академік НААН;

**Арліндо АЛЬМЕЙДА** – професор Політехнічного університету Браганси (Португальська Республіка);

**Віктор АУЛІН** – професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

**Маркус АРАК** – директор Тартуського технічного коледжу м. Тарту (Естонська Республіка);

**Олександр БАННИЙ** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;

**Христо БЄЛОЄВ** – радник ректора Університету «Ангел Кънчев» в м. Русе, академік Болгарської АН (Республіка Болгарія);

**Костянтин БОРАК** – заступник директора ЖАТФК;

**Вячеслав БРАТІШКО** – декан МТФ НУБіП України;

**Олег БУДАЙ** – директор ТОВ «Манн+Хуммель Фільтрейшн Текнолоджі Україна»;

**Володимир БУЛГАКОВ** – завідувач кафедри механіки НУБіП України, академік НААН;

**Михайло ВАСИЛЕНКО** – завідувач відділу «ІМА АПВ НААН»;

**Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ** – завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ;

**Дмитро ВОЙТЮК** – професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, член-кореспондент НААН;

**Станіслав ГЕРУК** – завідувач кафедри агроінженерії ЖАТФК;

**Ілля ДЖЕОНГ** – голова представництва в Україні «HYUNDAI XITESOLUTION» (Республіка Корея);

**Роландас ДОМЕЙКА** – декан відділення Агроінженірингу, Університету Вітаутаса Великого (Литовська Республіка);

**Олександр ЗАХАРЧУК** – завідувач відділу ННЦ «ІАЕ», член-кореспондент НААН;

**Степан КОВАЛИШИН** – декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій ЛНУВМБ ім. С. З. Гжицького;

**Марек КОРЕНКО** – професор Інституту проєктування та інженерних технологій Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);

**Володимир КУВАЧОВ** – декан МТФ ТДАТУ імені Дмитра Моторного;

**Володимир КУЛЬГАВИЙ** – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів»;

**Сергій КЮРЧЕВ** – ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного;

**Олена ЛИТОВЧЕНКО** – директор ВСП «Ніжинський ФК НУБіП України»;

**Вячеслав ЛОВЕЙКІН** – завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;

**Костянтин ЛОПАТЬКО** – завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України;



- Василь ЛУКАЧ** – директор ВП «Ніжинський агротехнічний інститут» НУБіП України;  
**Вікторія МЕЛЬНИК** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;  
**Віктор МЕЛЬНИК** – професор кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві ДБУ;  
**Володимир НАДИКТО** – професор ТДАТУ імені Дмитра Моторного, член-кореспондент НААН;  
**Олександр НАУМЕНКО** – професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;  
**Януш НОВАК** – професор Університету природничих наук у Любліні (Республіка Польща);  
**Андрій НОВИЦЬКИЙ** – завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;  
**Юрі ОЛЬТ** – професор Інженерного інституту Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);  
**Сімон ПАСКУЦЦІ** – професор Департаменту агроєкологічних і територіальних наук (DISAAT) університету Альдо Моро в м. Барі (Італійська Республіка);  
**Сергій ПИЛИПАКА** – завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України;  
**Павло ПОЛЯНСЬКИЙ** – завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ;  
**Лукреція ПОПА** – науковий дослідник Національного інституту досліджень і розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості (Румунія);  
**Олег ПРОДЕУС** – керівник відділу збуту Манн+Хуммель GmbH;  
**Юрій РОМАСЕВИЧ** – професор кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;  
**Юлій РЕВЕНКО** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;  
**Адольф РУСІНШ** – директор Улброкського наукового центру Латвійського університету природничих наук і технологій (Латвійська Республіка);  
**Володимир САЧЕНКО** – Голова Ради Асоціації «Укрмашбуд»;  
**Василь САВЧЕНКО** – доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ПНУ;  
**Олександр САЙЧУК** – директор ХДФПК імені В. І. Вернадського;  
**Олександр СИВОЛАПОВ** – директор ТОВ «Індустрія техногруп»;  
**Тін Ю Чен** – голова китайського офісу філії університету в Ліньї (Китайська Народна Республіка);  
**Павел ФІНДУРА** – проректор Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);  
**Андрій ШАРИБУРА** – завідувач кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича ЛНУВМБ ім. С. З. Гжицького;  
**Руслан ШАТРОВ** – в.о. завідувача кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;  
**Ігор ЯКОВЕНКО** – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.

**Редакційна колегія за спеціальністю G19 (192) – Будівництво та цивільна інженерія:**

- Микола МАР'ЄНКОВ** – професор кафедри будівництва НУБіП України;  
**Володимир ПОГРІБНИЙ** – професор кафедри будівництва НУБіП України;  
**Вячеслав МАРТИНОВ** – професор кафедри архітектурних конструкцій КНУБА;  
**Євген БАКУЛІН** – доцент кафедри будівництва НУБіП України;  
**Євген ДМИТРЕНКО** – доцент кафедри будівництва НУБіП України;  
**Наталія КОСТИРА** – доцент кафедри будівництва НУБіП України;  
**Ігор ЯКОВЕНКО** – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.



**КРАМАРОВ Володимир Савович  
(1906-1987)**

**доктор технічних наук, професор, віцепрезидент УАСГН**

Народився 5 грудня 1906 р. у м. Біла Церква у сім'ї бідняка.

У 1924 р. став студентом Білоцерківського політехнікуму.

З відкриттям у Київському сільськогосподарському інституті факультету механізації та електрифікації сільського господарства був переведений до вказаного інституту. Тут у 1929 р. він здобув фах інженера-механіка.

1929-1930 рр. – завідувач ремонтної майстерні, інженер-механізатор зернорадгоспу (с. Петропавлівка) Дніпропетровського зернотресту. У 1930 р. був переведений до Москви в Ремонтне управління Зернотресту.

1931-1932 рр. – асистент кафедри механізації сільського господарства, 1932-1949 рр. – завідувач кафедри ремонту тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин Московського інституту механізації та електрифікації сільського господарства, яка була створена з ініціативи та за участі В. С. Крамарова. Тут ним була розроблена програма дисципліни «Ремонт тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин», яка знайшла впровадження в навчальному процесі інших сільськогосподарських інститутів, захищені кандидатська та докторська дисертаційні роботи. Згодом в інституті була створена й лабораторія ремонту машин.

1949-1950 рр. – старший науковий співробітник Всесоюзного інституту механізації сільського господарства (м. Москва), де очолював розроблення та 4

видання типової технології ремонту тракторів КД-35, технологічних карт розбирання та збирання тракторів, теоретичних основ технологічних процесів ремонтного виробництва та інженерної методики їх проектування.

1950-1954 рр. – професор, завідувач кафедри ремонту тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин (1951 р.), заступник директора з навчальної роботи, з навчальної та наукової роботи (1953 р.), з навчальної роботи (1954 р.) Київського сільськогосподарського інституту (КСГІ); 1954-1956 рр. – проректор з навчальної роботи Української ордену Трудового Червоного Прапора сільськогосподарської академії (УСГА) (перейменованого КСГІ), 1956-1959 рр. – ректор навчальної частини Української академії сільськогосподарських наук (УАСГН).

1959-1971 рр. – директор Українського науково-дослідного інституту механізації і електрифікації сільського господарства;

1968-1976 рр. – завідувач, 1976-1986 рр. – професор-консультант кафедри ремонту тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин УСГА.

Був обраний членом-кореспондентом ВАСГНІЛ, віцепрезидентом УАСГН (1957-1959 рр.).

Опублікував понад 110 наукових праць, під його керівництвом підготовлено і захищено 2 докторські та 32 кандидатські дисертації.

Неодноразово обирався до партійних та керівних виборних органів, зокрема, його було обрано членом Московського районного комітету партії, депутатом обласної Ради народних депутатів міста Києва від Тимірязєвського та Боженківського виборчих округів.

Він нагороджений трьома орденами Трудового Червоного Прапора, орденом «Знак Пошани», Почесною Грамотою Президії Верховної Ради УРСР, Грамотою Міністерства сільського господарства УРСР, Почесною Грамотою ЦК ЛКСМУ – за успішну науково-педагогічну роботу, медалями «За доблесний труд у період Великої Вітчизняної війни», золотою та срібною медалями ВДНГ.

Помер 6 травня 1987 року.

**Секція 1 *«Надійність і ремонтування  
технічних систем»***

УДК: 631.3:631.17

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО КУРСУ

**В. В. АДАМЧУК**, д. т. н., професор, академік НААН,  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України,*  
E-mail: [vvadamchuk@gmail.com](mailto:vvadamchuk@gmail.com); ORCID iD 0000-0003-0358-7946

Розвиток зв'язків України з країнами Європи неможливий без наближення до європейських норм і стандартів, це процес зближення на рівні правил і законів. Тобто, якщо ми просимось в Європейський Союз, то ми повинні прийняти його нормативні акти і дотримуватися їх.

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. Наприклад, введення обмежень щодо викидів двигунів внутрішнього згорання автоматично зруйнувало двигунобудування відсталих країн.

Україна, як держава, для нормального функціонування потребує відповідних енергоресурсів для промисловості та агропромислового виробництва. Енергетичні потреби довоєнного вітчизняного АПК становили: дизельне паливо – 1,3 млрд т, бензин – майже 100 тис. т, природний газ – 330 млн м<sup>3</sup>, електроенергія -3,7 млрд кВт·год, дрова – 8 тис. м<sup>3</sup>, паливні брикети – 4 тис. т. При цьому за питомими витратами енергії на виробництво продукції Україна має показники, які в 3,9 разів вищі ніж у Німеччини та в 3,1 раза ніж у країнах ОЕСР.

Людство впродовж своєї історії відійшло від безвідходних природних технологій. Колись люди вирощували натуральну продукцію з використанням своєї мускульної сили і сили тяги тварин, вживали її і відбувався природний кругообіг хімічних елементів. Тобто вся діяльність людства на планеті Земля відбувалась в межах законів природи без негативного навантаження на довкілля. Була термоядерна реакція Сонця і фотосинтез на Землі. Це був період природної цивілізації.

Технічний прогрес привів до інтенсивного використання корисних копалин та всіх природних ресурсів. Обсяги використання ресурсів з кожним роком збільшуються. Збільшується і навантаження на довкілля, тому, що коли щось виробляють то обов'язково в процесі цього щось лишнє-непотрібне залишається, це відходи, які мають місце у всіх галузях промисловості, як наприклад донецькі терикони, відходи атомних станцій і навіть плаваючі в морях поліетеленові пакети та пластмасові пляшки.



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 ресурсний і енергетичний колапс. Адже тільки цифровізація всіх сфер нашої діяльності призводить до суттєвого збільшення енергоспоживання. Зараз у світовому вимірі третина вироблюваної енергії іде на забезпечення цифрових енергосистем. Або інший приклад. Сьогодні понад 30 % їжі, що виробляється, пропадає або викидається у відходи - разом із закладеною в неї енергією. В той час як у світі більше 1 млрд людей страждають від голоду.

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. Принагідно відмітити, що людство за останніх 50 років знищило більше 200 млрд тонн кисню. 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. Проаналізувавши структуру світових викидів парникових газів за галузями виробництва, можна зробити висновок, що майже три чверті викидів є наслідком споживання енергії та майже п'ята частина – від сільського господарства, а решта 8,4 % – від промисловості та відходів. Зростання 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.

На розв'язання цієї проблеми спрямовані складові Європейського зеленого курсу, однією з яких є перехід до циркулярної економіки. Головна ціль – впровадження нової промислової політики ЄС, заснованої на циркулярній економіці (замкнутих циклах в процесах виробництва). З 1970 по 2017 рік щорічне світове виробництво матеріалів зросло утричі, і продовжує зростати, створюючи серйозний глобальний ризик. Близько половини загальних викидів парникових газів і більше 90% втрати біорізноманіття відбуваються внаслідок видобутку ресурсів і виробництва матеріалів, палива та їжі. Промисловий сектор ЄС змінюється, але на нього все ще припадає 20% викидів парникових газів. «Циркулярна» складова в ньому досить мала – лише 12% матеріалів, які використовуються в промисловості, надходять із переробки. Пріоритетом має стати повторне використання матеріалів замість їх переробки.

В контексті циркулярної економіки можна прогнозувати вимоги до сільськогосподарської техніки як на етапі її створення, так і на етапі відновлення.

Очевидним є те, що створювана техніка повинна бути: зручною для ремонту і відновлення агрегатів та робочих органів; багатофункціональною, що підвищить її річне завантаження і зменшить чисельність та номенклатуру МТП; широке застосування повинно знайти створення робочих органів зі зйомними робочими елементами конструкції; а також робочих органів з ділянками

конструкції з різновеликим за інтенсивністю зношуванням, які диференційовано можна відновлювати; доцільним стає широке впровадження електроприводів в конструкції як стаціонарних, так і мобільних технічних засобів; а також автоматизованих систем контролю роботи і технічного стану агрегатів та робочих органів.

Вирішення науково-технічних проблем щодо відновлення техніки має передбачати, що розроблені технологічні процеси відновлення техніки, а також самі технічні засоби не повинні бути джерелом токсинів; відновлена техніка повинна мати якомога більш тривалий термін експлуатації; відновлена техніка повинна бути зручною для забезпечення обслуговування з метою збільшення її ресурсу; мінімізація ресурсів як на відновлення, так і обслуговування технічних засобів; можливість багаторазового використання робочих органів і агрегатів для відновлення; можливість раціонального використання відходів, які мають місце за процесу відновлення техніки.

УДК 631.3:004.94:621.9.08

## **ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ТЕХНІКИ Й ОБЛАДНАННЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ**

**К. В. БОРАК**, д.т.н., проф.,

**В. Г. РУДЕНКО** викл.

**Т. Б. ВЕРЕМІЙ**, викл.

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*

**О. ХІМІЧ**, здоб.,

**С. В. ПОЛІНКЕВИЧ**, здоб.,

*Поліський національний університет, м. Житомир*

*E-mail: koss1983@meta.ua*

3D-друк дедалі частіше розглядають як інструмент ремонтної інженерії в агропромисловому комплексі (АПК) завдяки здатності швидко виготовляти запасні частини за цифровою моделлю, зменшувати залежність від постачальників і скорочувати простої техніки у «вузькі» сезонні періоди.

Ремонт і технічне обслуговування машинно-тракторного парку традиційно організовують через ремонтні майстерні господарств і пункти ТО, при цьому частина робіт може виконуватися «в полі», але значний відсоток ремонтних операцій планують саме під майстерню (інженерна інфраструктура, персонал, оснащення). У пікові періоди польових робіт затримки із запчастинами особливо критичні очікування компонента з дилерського ланцюга постачання, яке здатне перетворитися на дорогий простій.

У міжнародних джерелах 3D-друк у ремонті найчастіше описують через концепцію MRO (maintenance, repair and overhaul) і «цифрових запасних частин» – зберігання файлу замість складу фізичних деталей із виробництвом «на вимогу». В українськомовному інформаційному полі 3D-друк для АПК описують як практичний спосіб швидко отримувати окремі деталі, прототипи й адаптери, коли постачання оригіналу повільне або неможливе. Технологічний процес 3D-друку запасних частин представлено на рис. 1.

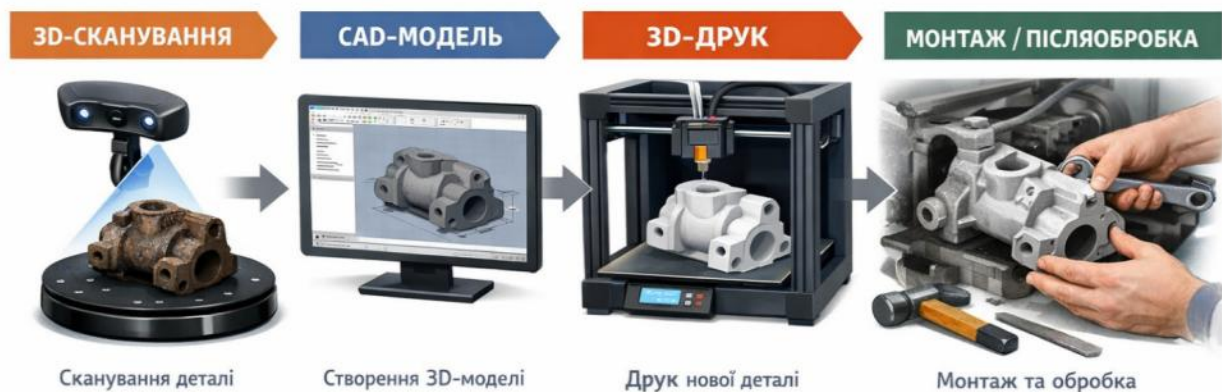


Рис. 1. Технологічний процес 3D-друку запасних частин.

Полімерний 3D-друк (передусім FDM/FFF як material extrusion) при ремонті сільськогосподарських машин є привабливим через доступність обладнання й відносно низькі вимоги до розгортання виробництва на місці. В аграрному контексті це прямо обговорюють як сценарій «друк на фермі або в локальному сервісному центрі». У дослідженнях технічного сервісу машин для аграрної галузі FDM-підхід демонструє економічну конкурентність для відібраних пластикових деталей (на прикладі матеріалів ABS/PLA/PETG) і формує умови для переходу від логістики «замовив-чекаю» до логістики «маю модель-друкую».

Компанія Framework Animation Ltd. надрукувала 3D-версію притисного вузла, використавши міцний полімер. Незважаючи на те, що оригінальна деталь була металевою, пластиковий прототип витримав навантаження на спеціальному стенді, що імітував польові умови, та показав хороші результати роботи навіть за змінних швидкостей руху сівалки. Тобто 3D-друкований притискач успішно виконував свою функцію під час випробувань. Таким чином, Technotill отримала можливість значно знизити собівартість цього вузла (замінивши дорогий литий чавун дешевшим друкованим пластиком) без погіршення ефективності посіву. На рис. 2 продемонстровано процес розробки: зверху – чавунна оригінальна деталь, її CAD-модель і надрукований зразок, а внизу – сама висівна секція з встановленим притискачем.

Випробування показали, що пластиковий елемент витримує необхідні навантаження, що відкриває шлях до здешевлення виробництва цього вузла.

Металевий адитивний ремонт (передусім DED/laser cladding та споріднені технології) є найбільш релевантним для відновлення зношених зон

високовартісних деталей. Багато дослідників виділяють DED, PBF і cold spray як ключові технологічні сімейства для ремонту металевих деталей [1].

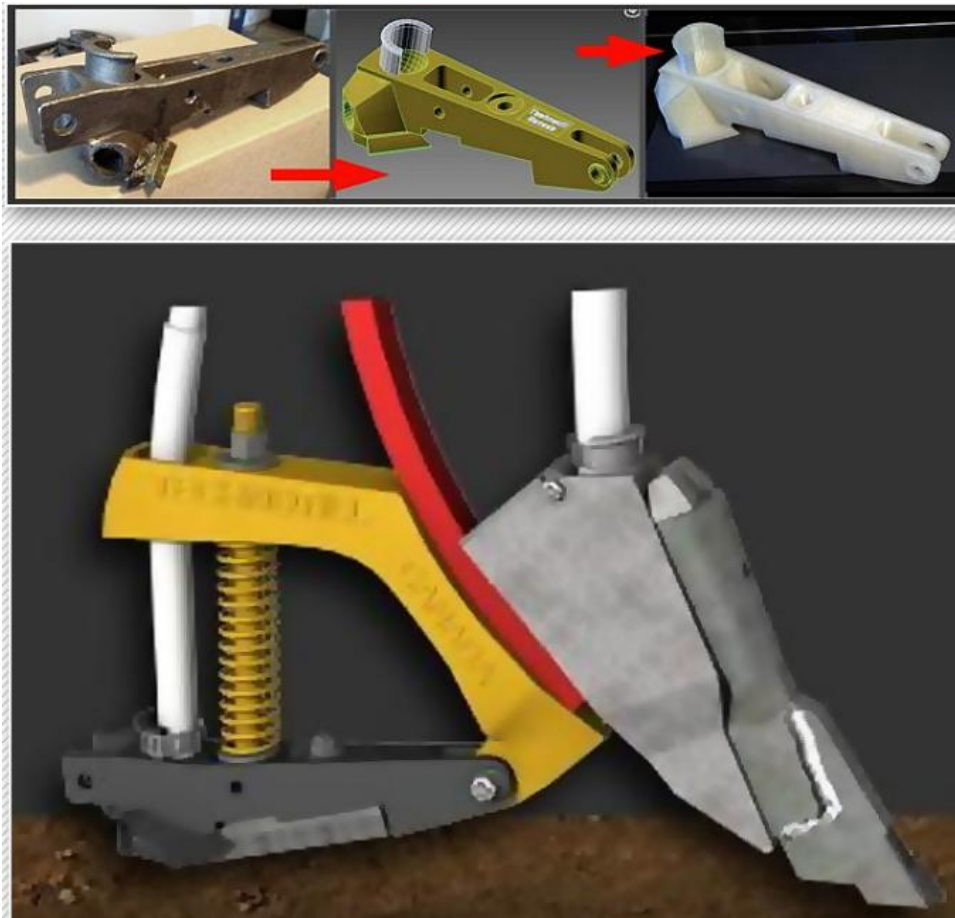


Рис. 2: Чавунний притискний елемент висівної секції (оригінал, ліворуч угорі), його 3D-модель (по центру) та надрукований на 3D-принтері зразок (праворуч угорі) від Technotill.

Окрема група ризиків для металевого АМ-ремонту – напружено-деформований стан і корозійна надійність. Китайські оглядові праці з лазерного адитивного виробництва підкреслюють, що швидкі цикли нагрівання/охолодження під час лазерного процесу формують залишкові напруження, які в агресивних середовищах можуть підвищувати ризик корозійного розтріскування під напруженням, водночас описують методи вимірювання й зниження залишкових напружень як обов’язковий компонент технологічного маршруту [2].

Це прямо корелює з умовами АПК, де волога та хімічні агенти (добрива/середовища з підвищеною корозійністю) часто є фоновими факторами експлуатації, а тому без контрольованої післяобробки й контролю якості металевий ремонт 3D-методами може створити нові механізми відмов.

3D-друк у ремонтних процесах АПК найкраще працює як частина цифрового сервісного контуру: дефектація → цифрова модель → друк/відновлення → контроль якості → оновлення цифрового архіву.



Полімерний FDM/FFF є прагматичною «точкою входу» для господарств і ремонтних майстерень, оскільки дозволяє відносно швидко виготовляти вибрані пластикові запчастини та скорочувати залежність від постачання; у дослідженнях для агромашин показано суттєвий потенціал економії та перебудови логістики технічної підтримки.

Для деталей з високими навантаженнями та абразивним зносом найбільш перспективними є металеві технології відновлення (DED/лазерне наплавлення, споріднені методи ремануфактури), що підтверджується як систематичними оглядами адитивного ремонту. Водночас впровадження металевого АМ-ремонт у АПК потребує формалізованої системи якості та безпеки (оцінка ризиків, післяобробка, НК, керування залишковими напруженнями).

Практично оптимальною для АПК виглядає гібридна модель: локальні майстерні (або кооперативні центри) закривають потреби в полімерних деталях і простих ремонтних елементах «на вимогу», тоді як складні/відповідальні металеві відновлення виконуються у спеціалізованому сервісному контурі з дотриманням ЕНС.

#### Список використаних джерел

1. Wahab D. A., Azman A. H. Additive Manufacturing for Repair and Restoration in Remanufacturing: An Overview from Object Design and Systems Perspectives. Processes. 2019, 7(11), 802. URL: <https://doi.org/10.3390/pr7110802>.
2. Jiasheng W., Linse S. Laser Cladding Remanufacturing and Repair of Agricultural Tractor Spindle. Laser & Optoelectronics Progress. Vol. 57. № 7. URL: <https://www.researching.cn/ArticlePdf/m00002/2020/57/7/071404.pdf>

УДК:621.771

#### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЮ ОБРОБКОЮ

**А. К. АВТУХОВ**, доктор технічних наук, професор  
**І. О. КАРПІЛОВИЧ**, магістрант  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Відновлення деталей методом електроіскрового легування— це процес, де матеріал анода (електрода) переноситься на катод (деталь) за допомогою іскрових розрядів. Ця технологія має унікальну специфіку формування поверхневого шару, що безпосередньо впливає на довговічність деталі [1].

При осадженні розплавленого матеріалу електрода на підкладку в процесі електроіскрової обробки виникає виражений градієнт температурний по

глибині покриття. Надшвидке загартування та взаємодія наплавленого матеріалу з елементами повітряного середовища призводять до зміни фазового складу шару. Об'ємні фазові перетворення супроводжуються формуванням структурних (залишкових) напруг, які є результатом поєднання теплових та структурних факторів. Оскільки процес відбувається за мікросекунди, виникають екстремальні градієнти температур.

Характер залишкової напруги залежить від: матеріалу електрода; енергії розряду; питомого часу обробки; складу міжелектродного середовища; матеріалу підкладки.

Максимальні значення напруги, як правило, спостерігаються біля поверхні зміцненого шару, або на межі підкладки та термодифузійного шару. У переважній більшості випадків у поверхневому шарі формуються розтягувальні залишкові напруження. Це пов'язано з тим, що розплавлений метал при охолодженні намагається стиснутися, але його стримує холодна основа деталі.

Безпосередньо під нанесеним шаром утворюється тонка зона з видозміненою структурою. Чим більша енергія імпульсу, тим глибша зона термічного впливу і тим вищі залишкові напруження.

Якщо рівень розтягувальних напружень перевищує границю міцності матеріалу, у покритті виникають мікротріщини. Це особливо характерно для твердих сплавів на основі вольфраму (наприклад, ВК8).

Формування структури та експлуатаційних характеристик покриття обумовлено мікрометалургійними процесами в зоні іскрового розряду, фізико-хімічною взаємодією матеріалу, що наноситься з катодом і елементами навколишнього середовища[2].

Для забезпечення необхідного рівня експлуатаційних властивостей при електроіскровій обробці необхідно враховувати величину та характер розподілу залишкових напруг регулювати, які можна шляхом оптимізації режимів обробки (енергія розряду, час впливу), вибором матеріалу електрода та міжелектродного середовища з наступним контролем фазового складу та структури нанесеного шару.

Електроіскрова обробка є ефективним методом відновлення та зміцнення деталей машин. Раціональний вибір технологічних параметрів та матеріалів дозволяє керувати структурою, напруженим станом та експлуатаційними характеристиками відновлених поверхневих шарів.

### **Список використаних джерел**

1. Ремонт машин та обладнання: підруч. для вищ. навч. закл. / О. І. Сідашенко та ін.; ХНТУСГ. - 2-ге вид., перероб. і доп. - Х. : Міськдрук, 2014. - 740 с.
2. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин : навчальний посібник. Т. 1/ О. І. Сідашенко та ін.; Харків : Пром-Арт, 2018. - 416 с.



УДК 658.27:339.13:631.12

JEL Classification Q 01; D 24; P 42

## МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНЕ ТА ІНВЕСТИЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

**О. В. ЗАХАРЧУК**, доктор економічних наук, професор, член-кореспондент,  
*ННЦ «Інститут аграрної економіки»*  
*E-mail: zahar-s@ukr.net*

Матеріально-технічне та інвестиційне забезпечення є важливою складовою ефективного функціонування і розвитку сільськогосподарських підприємств, оскільки сприяє нарощуванню обсягів їх виробництва, збільшенню виробничого потенціалу, та в цілому зростанню результативності галузі й зміцненню продовольчої безпеки країни. Інвестиції, інновації у матеріальні ресурси торкаються глибинних основ господарської діяльності, визначаючи процес економічного зростання у цілому. Потреба в капітальних інвестиціях зумовлена необхідністю відновлення наявної матеріально-технічної бази, нарощуванням обсягів виробництва, освоєнням нових видів сільськогосподарської діяльності.

Порівняно з 2021 роком у 2023 році капіталомісткість впала на 30,0%, а капіталовіддача зросла на 42,9%, що є позитивною тенденцією використання основного капіталу в умовах воєнного часу. Капіталоозброєність та капіталозабезпеченість сільськогосподарських підприємств за цей період незначно збільшилася відповідно на 11,5 та 8,1 відсотки.

У період з 2010 по 2023 рік сільське господарство в Україні продемонструвало значне зростання своєї ваги в економіці. Його частка у валовій доданій вартості, основних засобах та капітальних інвестиціях збільшилася. Найбільш вражаюче зростання спостерігалось у частці основних виробничих засобів (втричі) та капітальних інвестицій (в 1,7 рази). Зростання частки валової доданої вартості було менш вираженим, але все ж склало 21,4%.

У кількісному виразі питома вага сільського господарства у національній економіці стабілізувалася на рівні 10,0 відсотків, питома вага капітальних інвестицій сільського господарства на рівні 10,4 відсотків, а питома вага основних виробничих засобів сільського господарства на рівні 6,0 відсотків.

Дослідження змін у відсотковому співвідношенні сільського господарства у валовій доданій вартості (ВДВ), основних засобах та капітальних інвестиціях в Україні з 2010 по 2023 рік показує, що, незважаючи на збільшення ВДВ, створеної сільським господарством, ефективність використання основних виробничих засобів та інвестицій в аграрній галузі дещо зменшилася. Зокрема, спостерігається значне зменшення наступних показників: відношення частки сільського господарства у валовій доданій вартості до частки у капітальних інвестиціях скоротилося в 2,2 рази; відношення частки сільського господарства

у капітальних інвестиціях до частки в основних засобах зменшилося в 1,7 рази; відношення частки сільського господарства у валовій доданій вартості до частки в основних засобах знизилося в 3,6 рази. Ці тенденції вказують на те, що інвестиції та основні засоби в сільському господарстві використовуються менш ефективно порівняно з тим, як вони сприяють створенню валової доданої вартості.

Попри потреби у відновленні та розвитку, аграрний сектор України у 2023 році отримав лише 63,8 млрд грн інвестицій (1,7 млрд доларів США). Це значно менше, ніж у довоєнному 2021 році, коли обсяг інвестицій склав 68,0 млрд грн (2,5 млрд доларів США). Падіння інвестицій, що становить майже третину в доларовому еквіваленті, свідчить про серйозні проблеми з фінансуванням галузі в умовах війни. Нестабільність інвестиційної динаміки та недостатність обсягів капіталовкладень перешкоджають розширеному розвитку сільського господарства, яке вже пережило три інвестиційні кризи за останні 10 років (у 2015, 2020 та 2022 роках).

В умовах воєнного часу, підприємства інвестують в середньому лише 95-110 доларів США на гектар оброблюваної землі. Цього явно недостатньо, адже міжнародний досвід показує, що для забезпечення сталого розвитку сільського господарства необхідно вкладати понад 150 доларів США на кожен гектар [1].

На сьогодні понад 95,4% усіх інвестицій складають власні кошти підприємств та організацій, тоді як лише 4,6% припадає на кредити банків та позики, а участь держави практично незначна. Для успішного розвитку процесів відтворення капіталу в аграрному секторі важливо, щоб співвідношення власних і залучених коштів для капітальних інвестицій становило приблизно 2:1, як зазначають науковці ННЦ «Інститут аграрної економіки» [2]. Вони довели, що низька частка залучених інвестицій може гальмувати відтворення капіталу у сільськогосподарських виробниках, тоді як їх надмір може підвищувати ризик неплатоспроможності. В умовах воєнного часу необхідно приділяти пріоритетну увагу підтримці та розвитку інвестиційних проектів у малому агробізнесі.

Так, якщо у 1990 р. фондомісткість становила 1,44 крб, то вже у 2000-му 4,24 грн, а в 2010 р. знизилася до 0,78 грн, а в 2015 р. – лише 0,48 грн. Таке зниження, вважаємо, не може бути достовірним, враховуючи що за останні 25 років значно вищі ціни на товари промислового виробництва (сільськогосподарську техніку, транспорт та обладнання, будівельні матеріали) порівняно з зростанням цін на продукцію сільського господарства.

Показники фондозабезпеченості та фондоозброєності сільськогосподарських підприємств мають тенденцію до зростання та у 2016 р. досягли відповідно 915,1 й 376,6 тис. грн. Це у 10,6 та 3,6 рази більше за відповідні показники 2000 р. Необхідно зазначити, що при цьому чисельність працівників у сільськогосподарських підприємствах за цей період зменшилася у п'ять разів, а площа сільськогосподарських угідь на 40%. Валова продукція

сільського господарства у фактичних цінах реалізації зросла більш як у вісімнадцять разів.

Підвищення ефективності сільськогосподарських підприємств практично не можливе без введення інновацій та інвестицій в матеріально-технічну базу. Позитивного результату можна досягнути шляхом впровадження нових технологій виробництва, оптимізації машинно-тракторного парку, раціонального використання земельних ресурсів та обробітку ґрунту, ефективного розміщення посівів та дотримання сівозмін, введення нових більш продуктивних сортів та гібридів в залежності від зональності, застосування екологобезпечних та ресурсозберігаючих технологій. Інноваційно-інвестиційний напрям та оптимізація комплексу виробництва, адаптація його до сучасних тенденцій розвитку ринку агропродукції дозволить збільшити показники економічної ефективності та прибутковості підприємств аграрної сфери.

### Список використаних джерел

1. Залучити капітал. Як розвивається агросектор в умовах мінімальних вкладень на гектар – коментар Олександра Захарчука Інтернет-ресурсу AgroPortal. URL : <http://www.iae.org.ua/presscentre/archnews/4141-zaluchyty-kapital-yak-rozvyvayetsya-ahrosektor-v-umovakh-minimalnykh-vkladen-na-hektar-komentar-oleksandra-zakharchuka-internet-resursu-agroportal.html>.

2. Zakharchuk O., Kisil M., Nechytailo V. Status and prospects of investment agricultural development in Ukraine. *Transformation of economy, finance and management in modern conditions*: Scientific monograph / Ed. by Pawlik A., Shaposhnykov K. (Latvia: Baltija Publishing, 2022). Riga, 2022. P. 58–74.

3. Navrotskyi, Ya., Zakharchuk, O., Vyshnevetska, O., Glinkowska-Krauze, B., & Kuchmieiev, O. The agricultural machinery market for crop production and prospects for its development in the postwar period. *Scientific Horizons*, 2023, 26(9), 153-166. doi: 10.48077/scihor9.2023.153.

УДК 621.

### ТИПИ ОЧИСНИКІВ КОРЕНЕБУЛЬБОПОЛОДІВ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ

**З. В. РУЖИЛО**, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [ruzhylo@nubip.edu.ua](mailto:ruzhylo@nubip.edu.ua)*

В технологічному процесі механізованого збирання картоплі наступною після підкопування є сепарація вороху від домішок (насамперед від ґрунтових) і

подальше його транспортування. В підкопаному шарі вміст бульб картоплі складає лише 3-5%, а інші 95-97% - домішки у вигляді дрібного і грудкуватого ґрунту, камінців, маточних бульб і рослинних решток. Згідно вимог до товарної картоплі в кінці технологічного процесу необхідно отримати чисту масу, вміст домішок у якій допускається не більше 3%. Крім того, великий вміст домішок призводить до додаткових втрат при зберіганні.

Чистоту маси можна досягти застосовуючи сепаруючі робочі органи.

Над проблемою створення надійних та ефективних сепараторів картопляного вороху працювати і працюють багато вчених в Україні та за кордоном. Це Булгаков В.М., Петров Г.Д., Батяєв Ф.І., Сорокін А.А., Максимов Б.І., Настенко П.М., Верменко Я.І., Кузьмін В.М., Сафразбекян О.О., Міненко С.В., Кареев Е.Б., Кусов Т.Т., Затхей Б.І., Зубков В.Є., Смолінський С.В. і т.д.

За видом відокремлюваних домішок сепаратори бувають:

- для сепарації сипучого ґрунту;
- для відокремлення рослинних решток;
- сепаратори для очищення вороху від грудок і камінців.

Існують два основних типи способів відокремлення домішок:

- 1 - дискретний (ручне перебирання)
- 2 – поточковий.

Поточковий у свою чергу можна розділити на автоматичне і механічне відокремлення ґрунтових домішок та рослинних решток. Аналогічно можна класифікувати сепаратори картопляного вороху.

За принципом можливої сепарації автоматичні сепаратори розрізняють: акустичні, радіохвильові, радіометричні, рентгенівські, ємнісні (принцип роботи побудований на різниці електропровідності чи магнітної провідності), фотоелектричні, фотометричні та на основі енергетичного свічення тіл (рис 1.)

В більшості випадків на якість їх роботи впливають вологість середовища і компонентів вороху, стан поверхні бульб (забрудненість). Вони вимагають поштучну подачу, також цим очисникам необхідний спеціально підготовлений персонал по технічному обслуговуванні і ремонту обладнання, а саме обладнання – дуже дороге. Найбільш ефективно застосовувати автоматичні очисники на стаціонарних перебирально-сортувальних пунктах в комбінації з механічними.

Значною перевагою електричних очисників є те, що не існує механічного контакту між тілом очищення і засобами, за допомогою яких досягається різниця у властивостях. Але виходячи з необхідності контролю кожного тіла окремо і кожної ознаки потрібно попереднє розділення суміш більш простими механічними очисниками. При цьому автоматичним очисникам відводиться роль кінцевого робочого органу, за допомогою якого досягається максимально можлива чистота суміші.



Рис. 1. Типи автоматичних сепараторів.

Простотою конструкції і експлуатації відзначаються механічні очисники. Механічне відокремлення можливе за умови, що хоч одна властивість компонентів вороху відрізняється. Серед таких властивостей можна виділити геометричні розміри, фракційні властивості, питома вага, міцність і твердість, пружні властивості. На рис. 2 та 3 наведено типи механічних очисників.

В результаті вивчення і порівняльної оцінки сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин ми прийшли до наступних висновків:

1. Основним способом сепарації картопляного вороху можна виділити просівну і виносну. Вони на сьогодні найбільш поширені в картоплезбиральних машинах. З них найбільшого поширення набули пруткові сепаратори, які ефективно виділяють ґрунт при оптимальній вологості. Але при підвищеній вологості проходить забивання сепарувальних просвітів вологим ґрунтом. Тому картоплезбиральні машини, очисним робочим органом яких є лише пруткові елеватори, не здатні задовільно ефективно працювати при різних умовах, а в деяких випадках робота в таких умовах може призвести до порушення технологічного процесу і отримання на виході вороху із значним вмістом домішок (особливо ґрунтових). Істотними недоліками ротаційних очисників, в яких частково усуваються недоліки, є накручування рослинних решток на привідні вали.



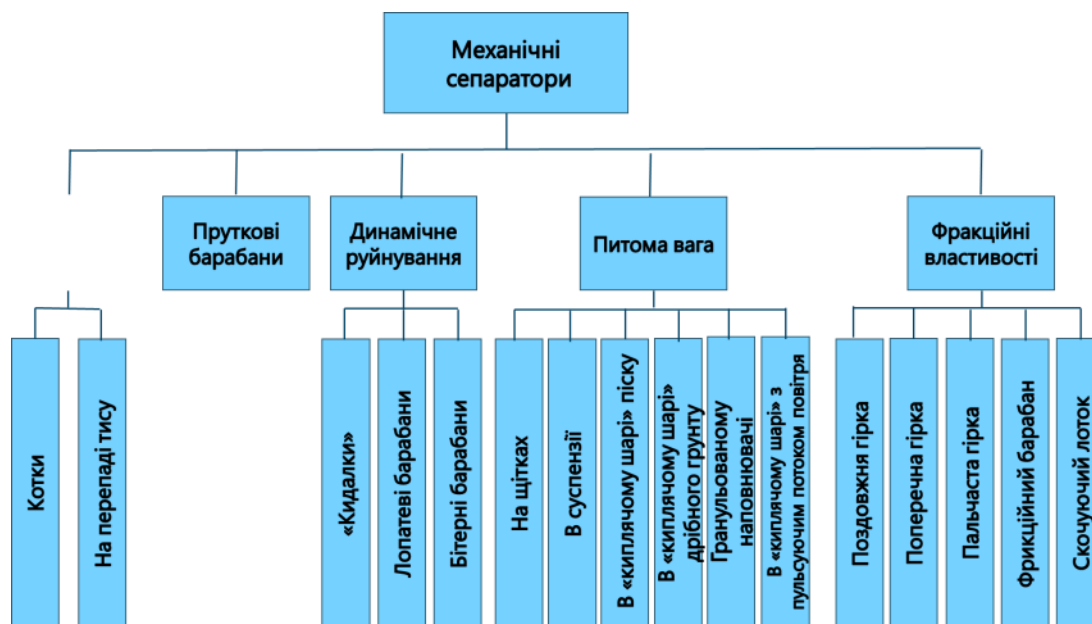


Рис. 2. Механічні сепаратори

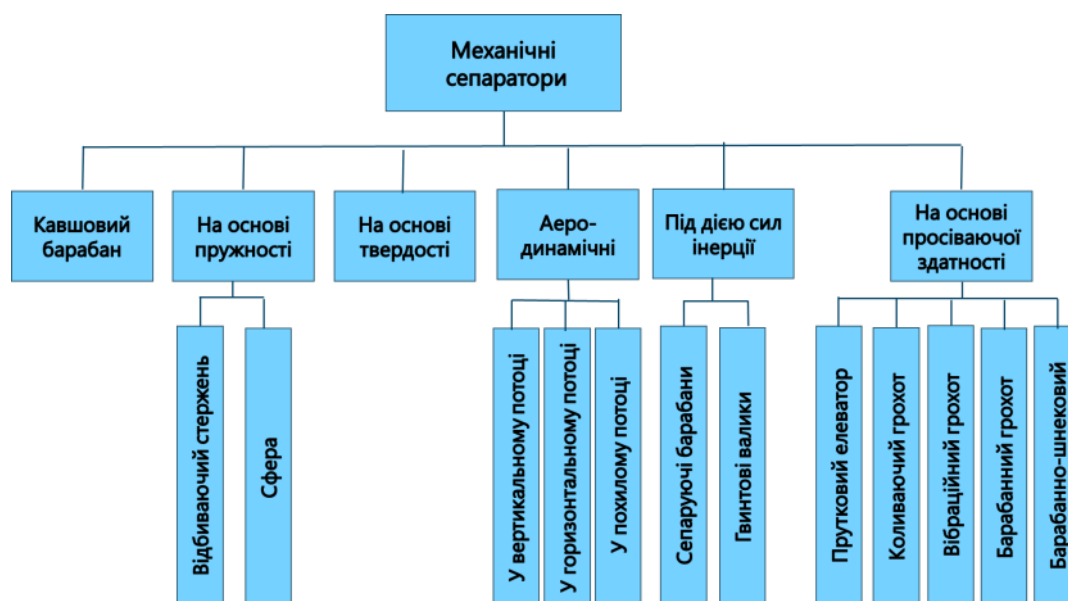


Рис. 3. Механічні сепаратори

2. Одним з шляхів підвищення якісних показників роботи очисників є інтенсифікація процесу просіювання шляхом використання віброуючої дії робочого елемента на картопляний ворох, який подається на сепарацію.

3. Використання в просіваючих очисниках простого руху (поступального або обертального) не дозволяє у повній мірі забезпечити рух маси, який не дозволяє здійснювати постійне її перемішування.

4. Сепарація ґрунтових домішок залежить від механічного складу ґрунту, вологості, твердості, кінематичних показників дії очисного робочого органу на

ворох. Швидкість взаємодії очисного робочого органу з ворохом обмежуються умовою непошкодженості бульб. Якщо швидкість взаємодії (руху) перевищує максимально допустиму швидкість, то значно зростає пошкодження бульб, а тому виходить за межі допустимих агровиимогами показників.

**Висновки.**

Очисники потребують подальшого конструктивного вдосконалення і теоретичного та експериментального дослідження з метою підвищення якісних показників їх роботи.

Створення більш досконалого очисного робочого органу є важливою задачею, яка поставлена перед дослідниками і конструкторами в галузі механізації картоплярства. Такий очисник повинен відповідати по меншій мірі таким вимогам:

- висока сепаруюча здатність для ґрунту та домішок;
- працездатність при різній вологості ґрунту;
- не забивання робочих органів рослинними рештками;
- вміст ґрунту у вихідному воросі не повинно перевищувати 10%;
- пошкодженість і втрати бульб повинні бути в допустимих межах.

Крім того, необхідно щоб такий очисник був менш енергоємним порівнюючи з іншими очисниками, мав просту конструкцію, високу транспортуючу здатність та бути недорогим у виготовленні.

Для задоволення цих вимог пропонується спіральний очисник коренебульбоплодів від домішок, на який у 2019 році отримано патент України на винахід.

### **Список використаних джерел**

1. Булгаков В.М., Ніколаєнко С.М., Ружи́ло З.В. Очисник коренебульбоплодів від домішок. Патент на винахід № 119024. бюл. №7/2019.
2. V. Bulgakov, S.Nicolaenko, J.Olt, M.Aracs, I.Holovach Mathematical model of cleaning potatoes on surface of spiral separator Biosystems Engineering. Agronomy Research. 2018, Volume 16, №1. – pp. 41-51. <https://doi.org/10.15159/AR.18.173>
3. V. Bulgakov, S.Nicolaenko, Z.Ruzhilo, J.Olt, M.Aracs, I.Holovach Theory of retaining potato bodies during operation of spiral separator. Biosystems Engineering. Agronomy Research. 2018, Volume 16, №3. – pp. 52-63. <https://doi.org/10.15159/AR.18.036>
4. Ружи́ло З.В. Очисник коренебульбоплодів від домішок Патент № 119957 бюл. № 16/2019.
5. Булгаков В., Адамчук В., Ружи́ло З., Головач І., Ігнат'єв Є. Експериментальне дослідження та обґрунтування параметрів сепаратора картопляного вороху. Вісник аграрної науки. 2020 р.
6. Volodymyr Bulgakov, Z inovii Ruzhilo, Ivan Fedosiy, Semjons Ivanovs. Experimental research and justification of parameters of spiral potato cleaner from

admixture 19<sup>th</sup> International Scientific Conference “Engineering for rural development”, Proceedings, Volume 19. May 20-22, 2020. Jelgava. pp. 450–456.

7. V. Bulgakov, Z. Ruzhilo, O. Trokhaniak, I. Holovach. International scientific journal «Mechanization in agriculture & conserving of the resources». Year LXVIII ISSUE 3 Justification of the improved technological process and development of the construction of the cleaner of root tubers from impurities.

**УДК 631.3:62-192:629.7**

## **МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЗМІШУВАЧІВ-КОРМОРОЗДАВАЧІВ З УРАХУВАННЯМ СТРАТЕГІЙ ЗБЕРІГАННЯ, РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ТА БЕЗВІДМОВНОСТІ**

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [Novytskyy@nubip.edu.ua](mailto:Novytskyy@nubip.edu.ua)*

Змішувачі-кормороздавачі представляють сектора засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК), які функціонують у специфічних умовах тваринницьких комплексів, що характеризуються підвищеною вологістю, наявністю агресивних хімічних компонентів кормових сумішей та абразивною дією робочого середовища. За таких умов інтенсифікуються процеси корозійно-механічного зношування, руйнування поверхонь тертя та старіння матеріалів. Однією з ключових властивостей, що визначає стабільність технічного стану змішувачів-кормороздавачів у міжексплуатаційний період, є збереженість, яка безпосередньо впливає на властивості безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності [1, 2].

Порушення регламентів зберігання призводить до збільшення інтенсивності відмов, скорочення ресурсу вузлів і підвищення трудомісткості проведення технологічних операцій ТО і ремонту [3]. У наукових дослідженнях з проблем забезпечення надійності машин для тваринництва встановлено, що нераціональні умови зберігання спричиняють прискорене старіння металоконструкцій, втрату захисних властивостей мастильних матеріалів, розвиток корозійних пошкоджень та порушення геометричних параметрів з'єднань [1, 2]. Урахування виду та тривалості зберігання (короткочасне, сезонне, тривале, консерваційне) є необхідною складовою ефективної системи технічної експлуатації ЗПРК.

Збереженість розглядається як інтегральна експлуатаційна властивість, що відображає здатність ЗПРК підтримувати працездатний стан упродовж усього періоду зберігання. Технічний стан робочих органів і приводних механізмів змішувачів-кормороздавачів суттєво залежить від якості

антикорозійних покриттів, ефективності виконання робіт з нанесення консерваційних матеріалів, герметизації та рівня захищеності від впливу вологості й агресивних середовищ [4]. Раціональні конструктивні рішення [5-7], організація зберігання і систематичний моніторинг параметрів стану дозволяють істотно знизити інтенсивність руйнівних процесів і прогнозувати залишковий ресурс вузлів [4, 8, 9].

Метою дослідження є обґрунтування впливу збереженості змішувачів-кормороздавачів на показники безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності з урахуванням умов і видів зберігання та розроблення методичних підходів до оцінювання взаємозв'язків між ними.

Об'єкт дослідження – змішувачі-кормороздавачі як складні технічні системи, що експлуатуються і зберігаються в умовах тваринницьких комплексів.

Предмет дослідження – закономірності впливу показників збереженості на параметри безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності ЗПРК.

У роботі застосовано комплекс взаємодоповнювальних методів: теоретичний аналіз фізико-хімічних і механічних процесів старіння елементів змішувачів-кормороздавачів у період зберігання; статистичну обробку експлуатаційних даних щодо інтенсивності та структури відмов за різних умов експлуатації та зберігання із використанням методів теорії надійності; структурно-функціональний аналіз конструктивних елементів, найбільш схильних до корозійно-механічного зношування; експертно-діагностичну оцінку технічного стану машин за альтернативних схем зберігання. Експериментальні дослідження передбачали інструментальне вимірювання зносу робочих органів механізму подрібнення-змішування, контроль геометричних параметрів, визначення стану поверхонь тертя.

Аналіз взаємозв'язку збереженості та безвідмовності показує, що саме показники збереженості формують початкові умови функціонування вузлів після введення змішувачів-кормороздавачів в експлуатацію. Корозійні пошкодження робочих органів, старіння мастильних матеріалів, збільшення люфтів і порушення геометрії з'єднань зумовлюють зростання імовірності виникнення відмов. За тривалого зберігання без консервації інтенсивність відмов може зростати у 1,5–2 рази. Якісна підготовка до зберігання, дотримання оптимального температурно-вологісного режиму та періодична перевірка механізмів дозволяють істотно знизити ризик відмов у початковий період експлуатації ЗПРК [2, 4].

Довговічність робочих органів змішувачів-кормороздавачів визначається темпами механічного і корозійно-механічного зношування, які значною мірою також залежать від умов зберігання. Порушення мікроклімату спричиняє прискорення процесів старіння у 2–4 рази. Застосування багат шарових захисних покриттів, зносостійких матеріалів, локального армування та дренажних систем сповільнює руйнування поверхонь. Раціонально

організоване сезонне зберігання дозволяє підвищити ресурс робочих органів та окремих вузлів на 15–25 % [4, 8, 9].

Ремонтопридатність техніки також істотно залежить від рівня збереженості. За незадовільних умов зберігання зростає частка прихованих дефектів, ускладнюється розбирання з'єднань, а трудомісткість відновлювальних робіт збільшується на 20-40%. Модульність конструкції, застосування антикорозійних матеріалів для різьбових з'єднань і систематичний контроль стану під час зберігання сприяють скороченню часу підготовки техніки до експлуатації та підвищенню її ремонтпридатності [2-4].

Збереженість є однією з визначальних експлуатаційних властивостей надійності, що формує технічний стан змішувачів-кормороздавачів протягом життєвого циклу. Забезпечення раціональних умов зберігання, застосування захисних технологій, дотримання регламентів технічного обслуговування та постійний моніторинг стану дозволяють мінімізувати інтенсивність процесів старіння, підвищити ресурс техніки та знизити експлуатаційні витрати у тваринництві. Сучасні наукові підходи до управління збереженістю є необхідним елементом сучасної стратегії підвищення надійності ЗПРК [1, 2, 4].

### Список використаних джерел

1. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskyi, I., & Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), pp. 47–57. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.47>.
2. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), 101–110. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101>.
3. Novitskiy A. V., Banniy O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12 (2), 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.
4. Novitskiy A. V., Banniy O. O., Bustruy O. M. (2021). Study of influence of operating factors on technical condition of agricultural machinery. *Machinery and Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol. 12, No. 3. pp. 39–46. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85182189405&origin=resultslist>
5. Pylypaka S., Volina T.M., Mukvich M., Efremova G., Kozlova O. (2020). Gravitational Relief with Spiral Gutters, Formed by the Screw Movement of the Sinusoid. In: Ivanov V., Pavlenko I., Liaposhchenko O., Machado J., Edl M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, pp. 63–73. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_7).
6. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash, S. A., Melnyk V. I., Nuretdinov D. I., Vornacheva I. V. (2021). Design of landing of assembly machine building units with



circulating load rolling bearing rings. *Journal of Physics: Conference Series*. 1889 (4).

7. Rucins, A., Bulgakov, V., Holovach, I., Trokhaniak, O., Klendii, M., Popa, L., Yaremenko, V. (2024). Research on power parameters of a screw conveyor with bladed operating body for transporting agricultural materials. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 74 (3). pp. 428-435. <https://doi.org/10.35633/inmateh-74-38>.

8. Y. Wang, D. Li, C. Nie, P. Gong, J. Yang, Z. Hu, B. Li, M. Ma. (2023). Research progress on the wear resistance of key components in agricultural machinery. *MDPI. Materials*, 16(24), 7646; <https://doi.org/10.3390/ma16247646>

9. Paman, Ujang, Khairizal, and Sutriana, Selvia. (2024). Field investigation of component failures for selected farm machinery used in small rice farming operations" *Open Agriculture*, vol. 9, no. 1. pp. 20220292. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0292>.

**УДК 620.95:631.3:504**

## **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ АГРАРНОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ БІОПАЛИВ І ВОДНЮ**

**Валентина МЕЛЬНИК**, к.е.н., доцент

**Віталій ЛІСЕЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент

**Олександр ПЛУЖНИКОВ**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Аграрний сектор України характеризується високою енергоємністю транспортних і технологічних процесів, що зумовлює залежність від викопного дизельного палива, зростання виробничих витрат та підвищене антропогенне навантаження на довкілля. Декарбонізація транспорту та диверсифікація енергопостачання через використання відновлюваних палив розглядаються як основні чинники підвищення енергетичної безпеки та конкурентоспроможності агровиробництва.

Біометан виробляється шляхом очищення біогазу, отриманого анаеробним зброджуванням органічних відходів сільського господарства. Використання біометану у транспорті забезпечує заміщення викопного природного газу, зменшення викидів парникових газів та замкнений цикл використання біомаси. Життєвий цикл біогазових систем демонструє суттєве скорочення викидів CO<sub>2</sub>-еквіваленту за умови раціонального управління сировиною та побічними продуктами [2]. Техніко-економічна ефективність виробництва визначається співвідношенням витрат і отриманої енергії:

$$C = B/E,$$

де  $C$  – собівартість енергії;

$B$  – сукупні витрати;

$E$  – вироблена енергія.

Для аграрних підприємств біометан є інструментом енергетичної автономізації та утилізації відходів виробництва.

Біодизель отримують шляхом трансестерифікації рослинних олій або жирів. Його застосування у дизельних двигунах можливе без значної модернізації техніки, що знижує бар'єри впровадження у сільському господарстві. Енергетичний баланс біодизеля характеризується позитивним співвідношенням виробленої та витраченої енергії, а також зменшенням токсичних викидів у порівнянні з традиційним дизельним паливом. Коефіцієнт енергетичної ефективності:

$$Ke = E_{отр}/E_{випр},$$

де  $E_{отр}$  – отримана енергія;

$E_{випр}$  – витрати енергії на виробництво.

За результатами порівняльних досліджень життєвого циклу, біодизель забезпечує істотне зниження сумарних викидів парникових газів за умов сталого землекористування.

Водень розглядається як універсальний енергоносіє з нульовими прямими викидами  $\text{CO}_2$  при використанні у паливних елементах. «Зелений» водень, отриманий електролізом води з використанням відновлюваної електроенергії, має потенціал глибокої декарбонізації транспортного сектору. Комплексний аналіз водневої енергетики демонструє значний потенціал скорочення викидів у транспорті, однак підкреслює високу капіталомісткість інфраструктури та потребу у масштабуванні технологій.

Перехід аграрного транспорту на біометан, біодизель і водень забезпечує:

- зниження залежності від імпорتنих енергоносіїв;
- скорочення викидів парникових газів і забруднювачів повітря;
- підвищення енергетичної ефективності виробництва;
- розвиток циркулярної біоекономіки.

Системний аналіз біоенергетичних технологій підтверджує їхній позитивний внесок у декарбонізацію економіки за умови інтегрованого управління ресурсами.

Основними бар'єрами переходу залишаються високі початкові інвестиції, технологічні ризики та потреба у стимулюючій державній політиці. Пріоритетними заходами є розвиток інфраструктури альтернативних палив, підтримка інноваційних технологій переробки біомаси та інтеграція аграрного сектору у систему відновлюваної енергетики.

Найбільш економічно доцільними для короткострокового впровадження в аграрному транспорті є біометан і біодизель, тоді як водень формує стратегічний напрям довгострокової декарбонізації. Комплексний перехід на

альтернативні види палива сприяє підвищенню енергоефективності агровиробництва, екологічній безпеці та сталому розвитку економіки.

### Список використаних джерел

1. Болгов В. Є., Кондратюк І. В. Економічна доцільність декарбонізації українського аграрного сектору. *Економічний простір*. 2024. № 190. С. 57–61. DOI: 10.32782/2224-6282/190-10.
2. Парсаданов І. В., Рикова І. В. Урахування шкідливої дії діоксиду вуглецю при комплексній оцінці витрати палива і токсичності відпрацьованих газів дизельних двигунів. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2022. № 1. С. 35–40.
3. Mishchenko N. Determination of innovative directions and prospects for the development of patenting technological achievements in the field of automotive power plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, No. 13. P. 92–102.
4. Марченко А. П., Парсаданов І. В. Критерії оцінювання ефективності декарбонізації силових установок транспорту. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2024. № 1. С. 3–11. DOI: 10.20998/0419-8719.2024.1.01.

УДК 339.188.4

## ВПЛИВ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ НА ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ АГРОПІДПРИЄМСТВ

**В. М. СЕМЦОВ**, д. е. н., професор,  
*ННЦ "Інститут аграрної економіки"*  
E-mail: Semtsov\_VM@ukr.net

Слід відзначити, що в умовах функціонування ринкової економіки рівень прибутку виступає ключовим індикатором ефективності господарської діяльності агропідприємств. Очевидно і те, що він знаходиться у прямій залежності від структури, складу та вартості ресурсів, залучених у виробничий процес, а також від ступеня раціональної організації та координації дій стейкхолдерів.

Незважаючи на стратегічну значущість, оптимальне використання матеріально-технічної бази в сільськогосподарських підприємствах і досі залишається недостатнім [1]. Ігнорування цього аспекту сприяє посиленню структурних дисбалансів та зниженню адаптивного потенціалу аграрного сектору. Між тим, наголошуємо, що саме раціональна організація процесів формування, експлуатації та модернізації матеріально-технічної бази сприяє підвищенню виробничої результативності, зниженню операційних ризиків та зміцненню фінансової стійкості агропідприємств.

Вищий менеджмент та / або власники агропідприємств змушені переосмислювати концепцію своєї матеріально-технічної бази з позицій системного аналізу майнового комплексу, оскільки традиційне розуміння, обмежене сукупністю засобів виробництва, втратило актуальність в умовах ринкового простору. У сучасних умовах матеріально-технічна база розглядається як інтегративний компонент майнового комплексу, що включає як фізичні активи – будівлі, обладнання, транспортні засоби, – так і технологічні платформи, інноваційні методики, програмно-апаратні комплекси та інші елементи, які забезпечують відтворення й оптимізацію виробничих процесів. Іншими словами, системний підхід дозволяє розглядати матеріально-технічну базу як об'єкт стратегічного управління, що вимагає формування раціональної структури, забезпечення ефективного використання та цілісного відтворення технологічних ресурсів.

Не можна не бачити того, що ефективність функціонування матеріально-технічної бази агропідприємств визначається сукупністю взаємопов'язаних факторів інституційного, організаційно-правового та економічного характеру. При цьому визначальну роль відіграють форми господарювання, характер економічних відносин між суб'єктами виробничої діяльності, і навіть рівень розвитку внутрішньогосподарських механізмів управління ресурсами. Беззаперечно, що саме узгодженість цих елементів формує основу для раціонального використання виробничого потенціалу та забезпечення відтворювальних процесів у сільському господарстві.

Слід підкреслити, що на сьогодні особливого значення набуває інституційна впорядкованість та / або прозорість управлінських процедур, що сприяє зниженню трансакційних витрат, підвищенню рівня керованості матеріальними потоками та максимізації загальної вартості агентів ринку. Адже удосконалення інституційних регуляторних механізмів, зокрема систем планування, контролю та моніторингу використання матеріально-технічних ресурсів, створює передумови для підвищення продуктивності аграрного виробництва, зміцнення фінансово-економічної стійкості та посилення конкурентних позицій підприємств в невизначених умовах ринкової кон'юнктури [2].

Варто також відзначити, що формування науково обґрунтованої економічної стратегії розвитку аграрного сектора України передбачає системний підхід щодо інституційної модернізації та підвищення ефективності використання його матеріально-технічного потенціалу. У цьому контексті пріоритетне значення набуває розробка механізмів, що забезпечують стійке відтворення основних засобів та технологічне оновлення виробництва.

Базальною детермінантою досягнення вищезазначених цілей є активізація інвестиційних процесів у сільському господарстві. А це, у свою чергу, породжує потребу у створенні сприятливого інвестиційного середовища, орієнтованого на мобілізацію ресурсів. Істотну роль при цьому можуть

відігравати державно-приватні партнерства, які здатні знижувати інвестиційні ризики.

Необхідно розуміти, що значні інвестиційні потоки не є автоматичною детермінантою економічного підйому, хоча між обсягами інвестицій та темпами економічного зростання, як правило, має простежуватися лінійна залежність. Між тим наголошуємо, що емпіричний досвід переконливо демонструє, що екстенсивне нарощування обсягів інвестування не є тотожним формуванню стійкої траєкторії розвитку, особливо в умовах постіндустріальної економіки, що характеризується інституційною нестабільністю та структурними диспропорціями. Прямий мультиплікативний ефект від "інвестиційних ін'єкцій" досить часто має відстрочений характер, тобто ефект виникає у довгостроковій перспективі, формуючи передумови для глибинних структурних зрушень та модернізаційних перетворень інституційного середовища.

Переконані, що ключовим фактором під час реалізації інвестиційних проектів виступає не стільки кількісний параметр ресурсів, скільки їх структурна спрямованість. Результативність інвестиційних процесів в аграрній сфері визначається ступенем інноваційної насиченості, якістю проектного управління, інституційним середовищем та ін. У цьому контексті пріоритетним в аграрній сфері є перехід від відтворення застарілих виробничих потужностей до формування нових моделей розширеного розвитку, які ґрунтуються на принципах цифровізації та впровадження досягнень науково-технічного прогресу. Проте, очевидним є те, що впровадження цифрових технологій потребує обережності через ризики кібербезпеки, недостатню кваліфікацію персоналу та можливу технологічну залежність, а тому цифровізацію слід здійснювати поступово, з ретельним плануванням та оцінкою економічної ефективності.

Хотілося б відзначити, що бар'єри інвестиційного розвитку досить часто виявляються в інституційній незрілості агентів ринку, дефіциті людського капіталу та обмеженій управлінській компетентності. Адже низький рівень стратегічного та інвестиційного планування, слабка практика проектного менеджменту, відсутність розвинених механізмів ризик-менеджменту та недостатня інформаційно-аналітична забезпеченість управлінських рішень призводять до зниження рентабельності інвестиційного капіталу і, як наслідок, відбувається обмеження потенціалу технологічної модернізації агропідприємств.

Таким чином, активізація економічного зростання в аграрній сфері передбачає не механічне збільшення обсягів інвестиційних вливань, а інституційно обумовлену трансформацію умов їх формування, розподілу та використання. Мова йде про формування цілісного інвестиційного середовища, яке буде здатне забезпечити синергію технологічного оновлення, структурної перебудови та підвищення якості системи управління.



Очевидно, що лише при умові реалізації комплексного, системно-орієнтованого підходу інвестиції здатні трансформуватися у стійке джерело довгострокового соціально-економічного розвитку аграрної сфери, забезпечуючи зростання конкурентоспроможності та ефективність агропідприємств.

Висновок, що впливає із вищезазначеного такий: сучасна парадигма управління матеріально-технічною базою агропідприємств повинна ґрунтуватися на принципах системності, адаптивності та інноваційної орієнтованості. Комплексний підхід до формування, модернізації та розвитку матеріально-технічного потенціалу є ключовою детермінантою стратегічної адаптації агропідприємств до динамічних трансформацій інституційного середовища. Особлива увага нині має приділятися інвестиційній складовій, яка є каталізатором технологічного оновлення, модернізації виробничих процесів та інтеграції новітніх агротехнологій. Виважене ефективне поєднання інноваційної інфраструктури та системного інвестиційного забезпечення матеріально-технічного потенціалу створює передумови підвищення конкурентоспроможності агропідприємств на ринку, а також формує стійкі механізми протидії зовнішнім економічним ризикам.

#### Список використаних джерел

1. Стратегія конкурентоспроможного розвитку інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення сільського господарства: наукове видання / за заг. ред. О.В. Захарчука. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2023. 96 с.
2. Семцов В. М., Самофалова М. О. Системно-логістична інтеграція матеріальних потоків у комплексній архітектоніці аграрної економіки. Ефективна економіка. 2026. № 1. URL: <https://www.nayka.com.ua>

УДК 519.21

#### ПРО ВЕЛИКІ ВИБІРКИ ВИПАДКОВИХ ВЕКТОРІВ В $R^n$ ІЗ СКІНЧЕННО-ЗНАЧНИМИ КООРДИНАТАМИ

М. Я. РУЖИЛО

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [ruzhilo@nubip.edu.ua](mailto:ruzhilo@nubip.edu.ua)*

Розглядаються незалежні однаково розподілені випадкові вектори  $\{\bar{\xi}_k, k=1,2,\dots,m\}$  в просторі  $R^n$ . Передбачається, що координати вектора  $\bar{\xi}_k = \{\xi_k^1, \xi_k^2, \dots, \xi_k^n\}$  скінченно-значні а також незалежні та однаково

розподілені. Сукупність векторів  $\{\bar{\xi}_k, k=1,2,\dots,m\}$ , як випадкову множину в просторі  $R^n$  позначимо через  $M_m^n$  :  $M_m^n = \{\bar{\xi}_1, \bar{\xi}_2, \dots, \bar{\xi}_m\}$ . Вивчається асимптотична поведінка цієї множини, коли. Така задача розглядалась в роботах А.В. Скорохода та В.І. Степахно, але для випадку, коли  $\xi_1^1$  має гаусівський розподіл. У випадку дискретного розподілу, тобто, коли  $P\{\xi_1^1 = \pm 1\} = \frac{1}{2}$  можна більш широко досліджувати поведінку множини  $M_m^n$  використовуючи метод «великих відхилень» (вперше запропонований і розглянутий Н. Chernoff в 1952 р.).

Позначимо через  $X_n$  множину векторів  $\bar{x}_i$  в просторі  $R^n$ , для яких  $x^i \in \{-1; +1\}, i=1,2,\dots,n$ , де  $x^i$  - координати вектора  $\bar{x}_i$ . Очевидно, що  $M_m^n \subset X_n$ . Для характеристики множини  $M_m^n$  використовуємо функцію  $\varphi: X_n \rightarrow R$  що  $\varphi(\Pi x) = \varphi(x)$ , для любого оператора  $\Pi$  переставляючого координати вектора  $\bar{x}_i$ , тобто  $\varphi$  є симетричною функцією координат і вона залежить лише від числа одиниць серед координат вектора (бо решта будуть -1). Тому люба така функція може бути представлена як  $\rho(x) = \sum_{i=1}^n x^i$  і саме цю функцію будемо використовувати для дослідження множини  $M_m^n$ , але попередньо дослідимо асимптотику розподілу  $\rho(\xi)$ .

**Лема.**

Нехай  $|k| \leq n$  і  $\frac{n-k}{2} \in Z_+$ , тоді  $\ln P\{\rho(\xi) = k\} = n \cdot q\left(\frac{|k|}{n}\right) + o(n)$ ,

де  $q(\lambda): [0,1] \rightarrow R$  визначається формулою

$$q(\lambda) = \frac{1+\lambda}{2} \cdot \ln \frac{1}{1+\lambda} + \frac{1-\lambda}{2} \cdot \ln \frac{1}{1-\lambda}.$$

Доведення леми базується на формулі Бернуллі а також використовується висновок із формули Стірлінга, що  $\ln n! = n \cdot \ln n - n + o(n)$ .

**Теорема.**

Позначимо  $X_n = \{x \in X_n : \rho(x) \leq \lambda n\}$ .

Тоді

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_m^n \subset X_n^\lambda\} = \begin{cases} 0, & \text{при } \lambda < \alpha \\ 1, & \text{при } \lambda > \alpha \end{cases},$$

де  $\alpha$  - розв'язок рівняння  $q(\alpha) = -\ln c$  ( $1 < c < 2$ ) і

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_m^n = X_n^\lambda\} = 1 \quad \text{при } c > 2.$$

**Висновок.** Розглянуто асимптотичну поведінку множини  $M_m^n$  випадкових векторів із скінченно-значними координатами в просторі  $R^n$ . Доведено, що елементи множини  $M_m^n$  є ланцюгами Маркова, що приводяться в певний стан за конкретний проміжок часу та мають геометричний розподіл.

#### Список використаних джерел

1. Ghernoff H.A. Assured asymptotic efficiency for tests of a hypothesis based on the sum of observations. Ann.Math.Stat., 23, 1952.
2. R.S. Ellis. Entropy, large Deviations and Statistical Mechanics. New York etc.: Springer-Verlag, 1985.
3. M.J. Ruzhilo, T.A. Skorokhod . On empirical distributions in spaces of growing dimensions. Discrete distributions. Random operators and stochastic equations. The Netherlands, Vol.13 № 3, 2005 (ISSN 0926-6364)
4. M.J. Ruzhilo, T.A. Skorokhod . On empirical distributions in spaces of growing dimensions. Continuous distributions. Random operators and stochastic equations. The Netherlands, Vol.13 № 4, 2005 (ISSN 0926-6364)
5. Ружи́ло М.Я., Степа́хно В.І. Про вибірки незалежних випадкових векторів в просторах безмежно зростаючої розмірності. Український математичний журнал 50(12), 1998.

УДК 631.33:629.113:621.43:658.7

#### LOGISTIC MANAGEMENT OF OIL FILTER RESOURCES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATION SYSTEMS: CURRENT APPROACHES AND PERSPECTIVES

**Valentyna MELNYK**, *PhD in Economics, Associate Professor*  
**Andriy NOVITSKIY**, *PhD in Engineering, Associate Professor*  
**Vitalii LISETSKYI**, *PhD in Engineering, Associate Professor*  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

The efficient operation of internal combustion engines (ICEs) directly depends on the quality of the lubrication system, in which oil filters play a key role. The accumulation of solid particles, wear products, and foreign contaminants in engine oil accelerates component wear, increases fuel consumption, and raises the risk of operational failures. In the context of intensified operating modes and increasing requirements for environmental performance and cost-efficiency, enhancing reliability and optimizing the service life of filter elements are particularly critical tasks.

Traditional maintenance strategies rely on scheduled intervals for oil and filter replacement, calculated for average operating conditions. Modern operational conditions — intensive duty cycles, frequent start-stop operations, variations in fuel quality, and aggressive environments—render standard intervals insufficient or suboptimal. This results in additional costs due to either premature filter replacement or increased risk of failure when operating filters beyond their actual service life.

The use of telematics, pressure-differential and contamination sensors, and machine learning algorithms enables the implementation of personalized, adaptive approaches to filter resource management. Integration of technical studies with logistic models and decision-making algorithms enhances maintenance efficiency, reduces lifecycle costs, and improves fleet readiness.

Logistic management encompasses not only spare parts provisioning but also optimization of interactions between condition monitoring, resource prediction, maintenance planning, and supply chains. Ensuring the availability of required filters at the right time and location with optimal stock levels is a key factor.

Addressing this problem requires integration of knowledge in tribology, filtration technology, reliability statistics, logistics, and information systems. Research in this area has both fundamental and applied dimensions, ranging from the development of new filter materials with enhanced capacity to the creation of algorithms for predicting residual filter life and logistic models for optimizing stock levels and delivery routes.

Special attention is given to adapting global best practices to local factors, including fuel and lubricant quality, climatic conditions, and fleet structure, which determine the specifics of filter resource logistic management.

The study aims to systematize contemporary scientific approaches, technical solutions, and practical experience in managing the reliability and service life of oil filters; identify key research challenges; and develop a conceptual framework for further experimental studies and implementation in logistic management.

The expected results include establishing a methodological foundation for enhancing ICE reliability, identifying ways to reduce operational costs, and developing effective adaptive oil filter maintenance models integrating technical, informational, and logistic aspects.

### **References**

1. ISO 16889:2008 Hydraulic fluid power – Filters – Multi-pass method for evaluating filtration performance of a filter element. Geneva : ISO, 2008.
2. ISO 4548-12:2017 Full-flow lubricating oil filters for internal combustion engines – Part 12: Fatigue life test. Geneva : ISO, 2017.
3. Mang T., Dresel W. Lubricants and Lubrication. 2nd ed. Weinheim : Wiley-VCH, 2007. 827 p.
4. Wakeman R. J., Tarleton E. S. Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration. 2nd ed. Oxford : Elsevier, 2005. 539 p.

5. Hoppmann C., Schenk J. Lifetime prediction of automotive oil filters. SAE Technical Paper 2019-01-0743. 2019. DOI: 10.4271/2019-01-0743.
6. Wang X., Li Y. Prediction of remaining useful life of filters based on pressure drop. Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. Vol. 101. P. 326–339. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.09.016.
7. Zhang L., Zhang J. Study on clogging characteristics of oil filters. Tribology International. 2019. Vol. 134. P. 290–298. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.02.017.
8. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics. Mechanical Systems and Signal Processing. 2006. Vol. 20. P. 1483–1510. DOI: 10.1016/j.ymssp.2005.09.012.

**УДК 631.316**

### **КУЛЬТИВАТОР КВАНТ-7 ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ**

**В. В. АДАМЧУК**, доктор технічних наук, професор, академік НААН, директор  
**А. С. АНТОНЕЦЬ**, кандидат економічних наук,  
заступник генерального директора *ПП «Агроекологія»*  
**М. О. ВАСИЛЕНКО**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник, завідувач відділу  
**М. І. ГРИЦИШИН**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник, учений секретар  
**Д. О. БУСЛАЄВ**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук  
E-mail: nnc-imesg.0930@ukr.net*

Розвиток органічного землеробства передбачає використання спеціалізованої техніки, здатної забезпечувати стабільну глибину обробітку ґрунту та якісне підрізання рослинних решток. Стандартні агрегати, які застосовуються у традиційному землеробстві, не завжди відповідають цим вимогам. Тому для органічних технологій необхідні агрегати з удосконаленими робочими органами та конструкційними рішеннями, однак у світі виробництвом такої техніки займається лише обмежене коло підприємств.

Культиватор КВАНТ-7 (рис. 1) призначений для мілкої обробітку ґрунту з підрізанням бур'янів і рослин люцерни на глибині точки росту та передпосівного обробітку ґрунту із створенням рівного ложе для посівного матеріалу [1].





Рис. 1. Передпосівний обробіток ґрунту культиватором КВАНТ-7 в ПП «Агроекологія»

За один прохід він забезпечує повне підрізування корневищ люцерни, яка в органічному землеробстві після першого укусу використовується як сидерат, на глибині точки росту і перемішування підрізаних рослин з ґрунтом (мульчування). При цьому коріння люцерни залишається в ґрунті без пошкодження, але не проростає, а після розкладання – суттєво підвищує водопроникність і біологічну активність ґрунту. Культиватор КВАНТ-7 дозволяє успішно знищувати бур'яни та рослини падалиці без використання гербіцидів у період після збирання зернових до сівби озимих культур і поглиблювати розпушування ґрунту на глибину до 16 см.

Високі показники якості роботи культиватора забезпечується точним дотриманням заданої глибини обробітку та використаними в конструкції культиватора робочими органами і їх розстановкою. В конструкції культиватора використано: котки пластинчасті; стрілчасті плоскоріжучі лапи на серповидних стовбах; котки-тандем трубчасті. Крім того, культиватор обладнаний лапами оригінальної конструкції, виготовленими за ініціативи С. С. Антонця. Вони виготовлені із сталі 65 Г з подальшою їх електроконтактною обробкою і зміцненням робочої поверхні, що забезпечує підвищення ресурсних показників (рис. 2).

Використання серповидних стійок, які завдяки своїй геометричній формі здатні ефективно самоочищуватися від налиплого ґрунту та рослинних решток у процесі експлуатації, забезпечує стабільність роботи агрегата, зменшує ризик забивання робочих органів, сприяє підвищенню продуктивності та зниженню енерговитрат під час виконання технологічних операцій.

Культиватор КВАНТ-7 розроблено і виготовлено в ІМА АПВ НААН на замовлення ПП «Агроекологія» (Полтавська область). Експлуатаційні



Рис. 2. Загальний вигляд стрілочастих плоскоріжучих лап на серповидних стовбах культиватора КВАНТ-7

випробування культиватора в цьому господарстві довели його переваги перед аналогами. Ефективність використання культиватора досягається за рахунок точного регулювання обробітку ґрунту за глибиною та якісної підготовки поверхні ґрунту порівняно з аналогічними культиваторами вітчизняного та зарубіжного виробництва. Агрегатуються з тракторами тягового класу – 4 і забезпечує високу продуктивність 6,3–8,4 га/год при глибині обробітку 4–6 см.

#### Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Антоненко С. С., Василенко М. О., Єранкін О. Н., Буслаєв Д. О. Культиватор КВАНТ–7 для передпосівного обробітку ґранту в органічному землеробстві. Аграрна наука – виробництву. Київ, 2017. № 2. С. 26.

UDK 631.3:502.131.1:620.9

## ACHIEVING CLIMATE NEUTRALITY IN AGRICULTURAL MACHINERY ENGINEERING: STRATEGIC, TECHNOLOGICAL, AND INSTITUTIONAL DIMENSIONS FOR UKRAINE

**Valentyna MELNYK**, PhD in Economics, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
**Viktoriia MELNYK**, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor  
*Kherson State Agrarian and Economic University*  
**Vitalii LISETSKYI**, PhD in Engineering, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Global climate policy aimed at achieving carbon neutrality is redefining the development parameters of industry, particularly the machinery manufacturing sector. Agricultural machinery engineering occupies a distinctive position, as it combines resource-intensive production with the subsequent operation of equipment

associated with significant greenhouse gas emissions. For Ukraine, the issue of sectoral climate neutrality is becoming strategically important in the context of European integration processes, the need for technological modernization, and the enhancement of competitiveness in international markets.

The carbon impact of agricultural machinery is generated throughout its entire life cycle – from raw material extraction and processing to end-of-life disposal. Metal production, energy-intensive manufacturing processes, the use of diesel fuel during operation, and the insufficient level of recycling of decommissioned machinery collectively form substantial environmental pressure. Therefore, climate neutrality in the sector implies not only the reduction of operational emissions but also systemic optimization of material, energy, and design parameters of machinery.

Current EU regulatory trends emphasize industrial decarbonization, product energy efficiency, circular economy development, and the implementation of eco-design principles. These requirements shape a new engineering design paradigm in which durability, reparability, modularity, and material recyclability become key attributes. For Ukrainian manufacturers, this represents both a challenge and an opportunity for integration into European production value chains.

Technical solutions play a decisive role in the decarbonization process. Reducing material intensity is achieved through the use of high-strength alloys, geometric optimization of components, and the application of additive manufacturing technologies. Improvements in machine energy efficiency are associated with advanced drive systems, reduced mechanical losses, and the implementation of hybrid or electrified systems. An important direction is machinery design based on circularity principles, including component standardization, ease of disassembly, and reuse of parts.

The transition to climate neutrality is interstage in nature and based on the interconnection of technical, economic, and environmental parameters. Each emission source is considered an object of engineering intervention, while design modifications simultaneously ensure resource conservation, economic efficiency, and reduction of the overall carbon burden. Thus, environmental requirements become integrated into the logic of engineering design and serve as a driver of technological modernization (Table 1).

### 1. Systematization of Transition Pathways

| Life Cycle Stage | Impact Points                                      | Priority Engineering Solutions                                                            | Economic Effect                           | Environmental Outcome        |
|------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| Materials        | Carbon-intensive production of metals and polymers | Lightweight and high-strength materials, secondary raw materials, structural optimization | Reduced material and transportation costs | Lower primary emissions      |
| Manufacturing    | High energy consumption of technological processes | Energy-efficient equipment, digitalization, additive technologies                         | Lower production costs                    | Reduced industrial emissions |

|             |                                            |                                                          |                                       |                                       |
|-------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Design      | Excess mass, energy losses                 | Transmission optimization, electrification of components | Lower fuel consumption                | Reduced operational emissions         |
| Operation   | Use of fossil fuels                        | Precision agriculture, alternative fuels                 | Resource savings, higher productivity | Reduced agricultural carbon footprint |
| Maintenance | Frequent replacements and waste generation | Modularity, reparability                                 | Extended equipment service life       | Reduced indirect emissions            |
| End of Life | Disposal without recycling                 | Disassemblable structures, material recycling            | Recovery of secondary raw materials   | Reduced overall environmental impact  |

Environmentally oriented innovations contribute to lower operating costs, provide access to new markets, and generate demand for service-based and remanufacturing business models. At the same time, the success of the transformation depends on the advancement of research, the training of specialists with competencies in eco-design, and the integration of sustainable development principles into engineering education.

Achieving climate neutrality in Ukraine's agricultural machinery engineering is a multidimensional process combining technological innovation, economic feasibility, and EU regulatory guidance. Engineering design serves as a key instrument of decarbonization, while a life-cycle-based systemic approach ensures reduced environmental impact and improved sectoral competitiveness.

### References

1. Bumbiere, K., Meikulane, E., Gravelins, A., Pubule, J., & Blumberga, D. (2023). Progress of the agricultural sector toward climate neutrality: Identification of essential stages. *Sustainability*, 15(14), 11136. <https://doi.org/10.3390/su151411136>
2. Ma, W., Yang, X., & Tian, Z. (2024). Agriculture neutralization: Perspective from intelligent agricultural machinery. *Circular Agricultural Systems*, 1–5. <https://doi.org/10.48130/cas-0024-0002>
3. Van Hoof, S. (2023). Climate change mitigation in agriculture: Barriers to the adoption of carbon farming policies in the EU. *Sustainability*, 15(13), 10452. <https://doi.org/10.3390/su151310452>
4. Progress and prospects for decarbonisation in the agriculture sector and beyond. *European Environment Agency (EEA)*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/progress-and-prospects-for-decarbonisation-in-the-agriculture-sector-and-beyond>
5. Zhuang, M., Wang, X., Yang, Y., Wu, Y., Wang, L., & Lu, X. (2025). Agricultural machinery could contribute 20% of total carbon and air pollutant

emissions by 2050 and compromise carbon neutrality targets in China. *Nature Food*. <https://doi.org/10.1038/s43016-025-01163-6>

6. Гнедіна, К., & Сорока, А. (2023). Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: Сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. *Економіка та суспільство*, (54). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76>.

UDC 330.15:658.5:502.131.1

## THE IMPACT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES ON THE FINANCIAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF PROJECTS

**Valentyna MELNYK**, PhD in Economics, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
**Viktoriia MELNYK**, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor  
*Kherson State Agrarian and Economic University*  
**Vitalii LISETSKYI**, PhD in Engineering, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

The intensification of EU climate policy and the progressive alignment of Ukrainian legislation with the frameworks of the European Green Deal, Fit for 55, the EU Sustainable Finance Taxonomy, and circular economy principles are reshaping the environment in which investment and engineering projects are developed and implemented. Environmental provisions are no longer regarded merely as regulatory burdens; they increasingly act as key economic determinants that influence project cost composition, risk exposure, investment appeal, and long-term performance outcomes.

The objective of this study is to explore the ways in which green regulatory instruments affect core economic indicators of projects and to justify the incorporation of environmental criteria into economic evaluation practices in Ukraine.

The adoption of environmental standards results in higher upfront capital expenditures (CAPEX), primarily due to:

- the integration of energy-efficient technological solutions;
- the application of environmentally responsible materials;
- the upgrading of equipment to meet emission-related requirements.

Conversely, operating expenditures (OPEX) tend to decline over the project life cycle as a consequence of improved energy efficiency, more rational resource use, and reduced waste management costs.

Sustainability-oriented regulations also reshape conventional investment assessment metrics:



- Net Present Value (NPV) generally improves over the long term as resource savings accumulate;
- the Internal Rate of Return (IRR) becomes more dependent on energy price dynamics and carbon-related regulatory measures;
- while the payback period may initially extend, exposure to technological obsolescence risks is mitigated.

The deployment of emission pricing instruments, including carbon pricing mechanisms and the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), introduces additional financial burdens for carbon-intensive initiatives. In contrast, projects aligned with green standards exhibit lower regulatory uncertainty, more predictable financial performance, and better prospects for securing international funding.

Adherence to sustainable development principles also creates access to new financial opportunities, such as:

- participation in grant-based funding schemes;
- attraction of concessional financing;
- issuance of green bonds.

These instruments contribute to lowering the weighted average cost of capital (WACC) and strengthening overall project competitiveness.

Enhanced environmental performance further generates indirect economic benefits, including:

- improved corporate reputation;
- stronger stakeholder and market confidence;
- expanded export potential through compliance with EU environmental requirements.

Overall, sustainability-driven regulation is redefining the approach to project economic evaluation, shifting the focus from short-term cost reduction toward long-term life-cycle value optimization. Environmental criteria thus serve not only as compliance conditions but also as strategic factors that enhance investment robustness, innovative capacity, and competitive positioning. Embedding environmental parameters into financial modelling is therefore essential for effective project management within the evolving regulatory and economic landscape.

### References

1. Tonnarello, F., Vermiglio, C., Migliardo, C., Naciti, V. (2025). *The Impact of EU Taxonomy for Sustainable Activities on European Utilities Performance*. DOI: 10.1002/bse.4128
2. Springer Nature (2025). *The impact of changing energy prices, interest rates, and investment costs on net present value and internal rate of return for alternative energy projects*. DOI: 10.1007/s43621-025-00921-7
3. He, J., Huang, Z., Fan, X., Zhang, H. (2023). *The impact of environmental regulation on regional economic growth: A case study of the Yangtze River Economic Belt*. DOI: 10.1371/journal.pone.0290607

4. Nipper, M., Ostermaier, A., Theis, J. (2022). *Mandatory Disclosure of Standardized Sustainability Metrics: The Case of the EU Taxonomy Regulation*.
5. Lucarelli, C. (2023). *The Impact of EU Taxonomy on Corporate Investment*.
6. Детальний аналіз впливу таксономії ЄС на корпоративні інвестиції. (World Scientific). <https://doi.org/10.1142/S2282717X23500044>
7. Zhao, X., Mahendru, M., Ma, X. et al. (2022). *Impacts of environmental regulations on green economic growth in China*. DOI: 10.1016/j.renene.2022.01.076

**UDC 628.4.046:502.131.1:69.059**

## **CONSTRUCTION WASTE RECYCLING AS A TOOL FOR IMPLEMENTING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES IN THE PROCESS OF SUSTAINABLE RECOVERY OF UKRAINE**

**Vladyslav BASTYLO**, student  
**Valentyna MELNYK**, PhD in Economics, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Since 2022, as a result of full-scale hostilities on the territory of Ukraine, including missile strikes and artillery shelling, extensive destruction of residential and industrial buildings and structures has occurred. This has led to the generation of substantial volumes of construction and demolition (C&D) waste consisting of concrete, brick, metal, wood, and other materials. At present, Ukraine lacks a systematic model for the accounting, collection, and management of such waste streams. Conventional approaches that rely on landfilling are short-term and economically expedient; however, they create long-term environmental risks and prevent the recovery and reuse of valuable resources. In this context, the recycling of C&D waste has become particularly relevant within the framework of sustainable territorial recovery.

According to expert assessments, the volumes of construction debris generated as a consequence of military actions reach hundreds of thousands of tonnes. Waste is disposed of both at official landfills and at unauthorized dumping sites, exceeding municipal solid waste in terms of mass and dimensions [1]. This situation imposes significant pressure on the environment and local infrastructure.

In response to the growing volumes of C&D waste and the limited capacity for its environmentally sound disposal, the implementation of systematic recycling represents a promising solution. International studies indicate that the reuse of construction materials can reduce the consumption of primary raw materials by 30–50% and decrease landfill disposal volumes by more than 70%. In addition to environmental benefits, recycling also provides economic advantages, including an average 15–25% reduction in construction material production costs. Therefore, C&D

waste recycling serves not only as a tool for mitigating negative environmental impacts but also as an effective mechanism for resource conservation and cost optimization in the construction sector.

For example, the demolition of a five-storey building with an area exceeding 4,000 m<sup>2</sup> generates more than 8,973 tonnes of construction debris [1].

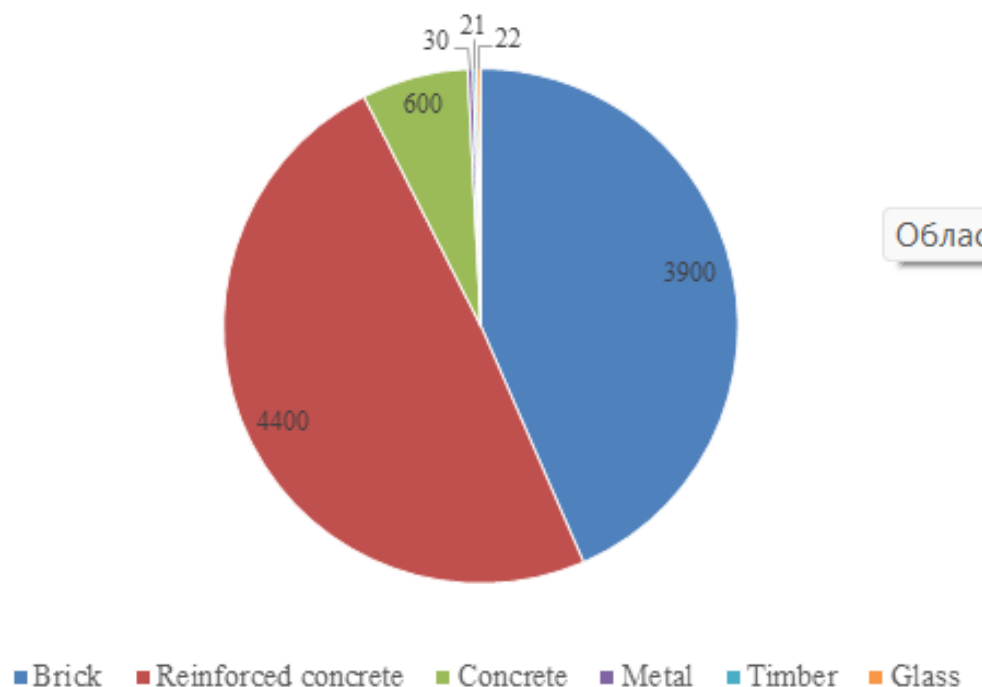


**Figure 1 – Distribution of construction waste generated from a five-storey building with an area of 4,000 m<sup>2</sup> (tonnes):** reinforced concrete – 4,400; brick – 3,900; concrete – 600; metal – 30; glass – 22; timber – 21

In view of the escalating quantities of construction and demolition waste and the constrained capacity for its environmentally sound disposal, the establishment of an integrated recycling system constitutes a viable and forward-looking response. Evidence from international research suggests that the recovery and reuse of construction materials can cut the demand for virgin raw resources by approximately 30–50% and reduce the volume of waste directed to landfills by over 70% [2]. Beyond environmental gains, recycling also delivers measurable economic benefits, notably through an average 15–25% decrease in the production costs of construction materials [3]. Accordingly, C&D waste recycling should be regarded not only as a means of mitigating environmental pressures, but also as a practical instrument for enhancing resource efficiency and improving cost performance within the construction sector.

Successful practices in construction waste recovery have already been reported. For instance, Neo-Eco Ukraine implemented a pilot circular economy initiative in Hostomel, where recycling measures prevented the uncontrolled disposal of approximately 7,150 m<sup>3</sup> of debris [4]. Similarly, ReThink Ukraine is advancing an innovative project aimed at developing technologies for the manufacture of low-energy, environmentally oriented construction materials [5].

The spectrum of applications for recovered construction materials is extensive. Reprocessed concrete can serve as feedstock for the production of both coarse and fine aggregates. Crushed brick materials may be used in the formation of drainage layers. Waste timber can be converted into fuel briquettes, arbolite, or employed as a secondary material and energy input in cement manufacturing. Recycled glass functions as a finely ground additive in concrete products and dry construction mixes, and is also utilized in fiberglass production. Plastic waste can be reintroduced into production cycles as secondary raw material for polymer-based products or materials derived from petrochemical sources. Non-ferrous metals, including copper, bronze, and brass, are commonly recovered and reused as secondary inputs in metallurgical processes [1].

Effective recycling of construction waste depends on the deployment of modern specialized equipment capable of supporting operations at each stage of the technological chain. Representative examples of such machinery are illustrated in Figures 2 and 3.

A jaw crusher is a machine designed for the mechanical size reduction of solid material fragments through compressive force applied between two flat surfaces, with the objective of producing particles of the required size fraction. It is typically employed for the primary crushing of large concrete pieces.

A screening plant refers to high-capacity, robust, and versatile equipment capable of sieving and separating a wide range of materials under demanding operational conditions. Such installations are widely used in recycling processes, aggregate production, topsoil processing, coal handling, as well as in the treatment of construction and demolition waste.



Figure 2 – McCloskey J40 jaw crusher in operation during the pilot project implemented by Neo-Eco in Hostomel



Figure 3 – Powerscreen Warrior 1400 tracked screening plant in operation during the pilot project conducted by Neo-Eco in Hostomel

As an example of recycled output, concrete may be considered one of the most widely used construction materials in contemporary building practice. Owing to its

physical and mechanical properties, secondary concrete material can be effectively applied in various civil engineering solutions, including: formation of concrete bedding layers; backfilling of excavations, trenches, and pits; construction of embankments; installation of drainage systems; use as a foundation base layer; application in landscape design; production of certain types of asphalt mixtures [6].

Construction waste generated as a result of military actions should be regarded not only as an environmental challenge but also as a substantial resource potential for Ukraine's post-war reconstruction. The adoption of a systematic approach to its collection, sorting, and recycling can significantly reduce environmental pressures, decrease reliance on virgin materials, and optimize construction expenditures. The findings support the rationale for integrating circular economy principles into public policy related to territorial recovery and environmental safety.

### References

1. **BDO Ukraina.** *Pererobka budivel'noho smitty: novi ekolohichni rishennya* [Recycling of construction waste: new environmental solutions]. Mizhnarodna audytors'ka kompaniya BDO. Available at: <https://www.bdo.ua/uk-ua/insights-2/information-materials/2024/opportunities-for-recycling-construction-waste-from-devastation> (Accessed: 13 January 2026).
2. Zheng, B. *et al.* (2025) 'A meta-analysis of environmental impacts of building reuse and recycling', *Journal of Cleaner Production*, 520, 146149. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146149> (Accessed: 14 January 2026).
3. **Atlantic Recycling.** *Advantages of Using Recycled Materials in Construction Projects*. Available at: <https://atlanticrecycling.co.uk/advantages-of-using-recycled-materials-in-construction-projects/> (Accessed: 14 January 2026).
4. **Neo-Eko Ukraina.** *Khto my* [Who we are]. *Neo-Eko Ukraina – Svit bez vidkhodiv*. Available at: <https://neo-eco.com.ua/about/pro-nas/> (Accessed: 13 January 2026).
5. **ReThink Ukraine.** *Safe, Sustainable, and Swift Reconstruction of Ukraine*. Available at: <https://www.rethink.com.ua/ua/projects/safe-sustainable-and-swift-reconstruction-of-ukraine> (Accessed: 15 January 2026).
6. *Droblennya betonu ta zalizobetonu. Pererobka ta retsyklinh* [Crushing of concrete and reinforced concrete. Processing and recycling]. Hrupa kompaniy "Tereshchenko". Available at: <https://demontazh-group.com/nashi-uslugi/pererobka-betonu-ta-zalizobetonu-retsikling/> (Accessed: 16 January 2026).



UDK 378.014:628.4:502

## **A COMPETENCY-BASED APPROACH TO THE INTEGRATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECODESIGN INTO ENGINEERING EDUCATION**

**Valentyna MELNYK**, PhD in Economics, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
**Viktoriia MELNYK**, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor  
*Kherson State Agrarian and Economic University*  
**Vitalii LISETSKYI**, PhD in Engineering, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Ecodesign and eco-efficiency are becoming central elements in shaping the competencies of future engineers and designers who are capable of developing products with reduced environmental impact. The integration of ecodesign into educational curricula fosters critical thinking regarding product life cycles, the use of renewable materials, and the minimization of resource consumption in accordance with the principles of the circular economy [1]. Practical implementation of ecodesign courses provides not only theoretical knowledge but also the development of project-based competencies through real-world industry collaboration cases.

Against the backdrop of global social and environmental challenges, sustainable development is being integrated into engineering education programs through transformative learning, which combines theory, practice, and measurable learning outcomes. The application of a transformative approach enables the formation of value-based, social, and professional competencies required for addressing complex environmental problems in professional practice [2].

Contemporary engineering education must reconsider design thinking by incorporating sustainability principles, including environmental awareness, systems thinking, and consideration of the environmental impacts of products and technologies. This approach broadens the traditional engineering paradigm, transforming engineering projects into instruments of sustainable development [2].

Assessment of learning outcomes related to sustainable development in engineering programs should extend beyond technical knowledge and include the ability to solve interdisciplinary sustainability challenges, as well as the capacity for reflective analysis of one's own projects from social, economic, and environmental perspectives [3].

A competency-based approach, particularly through the inclusion of environmental, digital, and interdisciplinary components in engineering curricula, plays a crucial role in ensuring graduates' readiness for contemporary professional challenges. Such an approach enhances the flexibility of professional career pathways and supports adaptation to evolving labor market demands [4].



**Fig. 1. Ecodesign and Sustainable Development in Engineering Education**

For the effective integration of sustainable development into engineering education, it is necessary to employ active learning methods (problem-based learning, project-based learning, case studies, and interdisciplinary projects), which enable students to apply knowledge in practice and develop transversal competencies in line with international standards.

### References

1. Neto, V. (2019). Eco-design and eco-efficiency competencies development in engineering and design students. *Education Sciences*, 9(2), 126. <https://doi.org/10.3390/educsci9020126>
2. Mangalore, P., Gamit, J. S., & Kanchan, M. (2025). Developing a framework for sustainable engineering education through transformative learning principles. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02146-0>
3. Date, G., & Chandrasekharan, S. (2024). Adapting engineering design thinking for sustainability. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09927-0>
4. Zorn, S., Malz, S. Assessing Competencies for Sustainability in Engineering Education – A Case Study. *E&PDE 2023*. <https://doi.org/10.35199/EPDE.2023.73>
5. Романчук, Н. О., Майборода, О. В., Білюк, І. С., & Савченко, О. В. (2025). Критеріальні засади формування дослідницької компетентності майбутніх фахівців технічної галузі. *Академічні студії. серія «Педагогіка»*, (2), 22–30. <https://doi.org/10.52726/as.pedagogy/2025.2.4>

УДК 658.27:339.13:631.12

## ІНВЕСТИЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

**В. В. КОНДРАТЮК**, аспірант,  
**О. В. ЗАХАРЧУК** д.е.н., професор, член-кореспондент  
*Національний науковий центр “Інститут аграрної економіки”*  
<https://orcid.org/0009-0000-2155-1846>

Інвестиційно-інноваційна діяльність сільськогосподарських підприємств є ключовим фактором забезпечення стійкості аграрного сектору економіки України, особливо в умовах воєнного конфлікту, що розпочався у 2022 році та глобальних викликів, таких як кліматичні зміни та інтеграція до європейських ринків. За 2021-2025 роки аграрний сектор демонстрував своєрідну стійкість, зберігаючи частку у валовому внутрішньому продукті на рівні 8-10%, а в експорті – понад 50%, попри логістичні труднощі та дефіцит матеріальних ресурсів.

Однак, низький рівень інноваційності, за даними Global Innovation Index (2023), та скорочення фінансування НДДКР (на 23,4% з боку держави в останні 10 років підкреслюють необхідність системних змін в частині удосконалення організаційної та економічної компоненти. Організаційна компонента інноваційної діяльності вітчизняних аграрних підприємств характеризується низкою фундаментальних недоліків, що гальмують трансформацію наукових розробок у комерційні інновації. Дослідження виявляють значну диференціацію за регіонами, відокремленість виробників від наукових установ та нерозробленість організаційно-економічних механізмів трансферу новацій.

Інноваційний процес умовно поділяється на три етапи: створення (наукові установи), поширення (органи управління АПК) та освоєння (безпосередньо сільгосппідприємства). Критичним вузлом є завершальний етап, де виникає необхідність формування ефективного організаційно-економічного механізму впровадження інновацій, що передбачає чітке визначення джерел фінансування, розподіл відповідальності та оцінку комерційних ризиків.

Організаційно-економічна компонента інвестиційно-інноваційної діяльності сільськогосподарських підприємств охоплює структуру управління, розподіл матеріальних та трудових ресурсів й механізми оцінки ефективності, які потребують удосконалення для підвищення конкурентоспроможності. У 2020–2025 роках ключовими елементами стали ідентифікація інноваційних потреб, стратегічне планування та встановлення партнерств з дослідницькими установами та університетами для обміну знаннями. Це передбачає раціональне використання виробничого потенціалу (земля, праця, капітал) через впровадження новітніх технологій у рослинництві, модернізацію техніки та

обладнання, а також матеріалоощадні підходи, що сприяє створенню конкурентних переваг.

Сучасна організаційна структура аграрних підприємств України передбачає багаторівневу модель управління, яка залежить від розміру та спеціалізації господарства. Традиційна двоступінчаста структура малих та середніх підприємств (підприємство – цех/ферма) все частіше доповнюється триступінчастою системою для великих структур із залученням централізованих служб управління інвестиціями.

Однак дослідження проведені нами виявили критичні недоліки у цій організаційній моделі. Основні проблеми організаційної структури включають: недостатнє розуміння інвестиційного потенціалу підприємством; відсутність чіткої інвестиційної політики на рівні окремих господарств; неефективна система оцінки інвестиційних проектів; відсутність кваліфікованих кадрів у сфері управління інвестиціями. Військові дії 2022-2025 років ускладнили ситуацію, внаслідок чого втрати робочої сили в сільському господарстві скоротилися з 509,4 тис осіб у 2021 році до 404,9 тис осіб у 2023 році.

Для удосконалення організаційної компоненти пропонується запровадження наступних заходів:

- створення спеціалізованих інвестиційних служб у складі аграрних підприємств з чіткою субординацією та відповідальністю;
- запровадження систем внутрішнього контролю над використанням інвестиційних ресурсів та моніторингу їх ефективності;
- підвищення кваліфікації управлінських кадрів через участь у програмах підготовки та перепідготовки у сфері інвестиційного менеджменту;
- розробка та впровадження чітких інвестиційних стратегій на рівні кожного підприємства з урахуванням місцевих умов та можливостей.

Економічна компонента фокусується на фінансових моделях, таких як самофінансування (реінвестування прибутку), кластерне фінансування з державною підтримкою та кооперативні моделі для дрібних господарств. Удосконалення включає оптимізацію портфеля інвестицій з урахуванням ризиків, інфляції та взаємозв'язків галузей (наприклад, рослинництво та тваринництво), а також централізацію фінансів у холдингах для скорочення витрат на менеджмент і аутсорсинг бухгалтерії.

За даними проведеного аналізу, в умовах воєнного стану (2022–2025) сільськогосподарські підприємства перейшли до використання власних ресурсів, що вимагає удосконалення регламентів, а саме: алгоритмів оцінки проектів, контролю та комплексної оцінки ефективності з урахуванням суміжних галузей.

Економічна невизначеність та обмеженість фінансових ресурсів залишаються ключовими факторами, що стримують інвестиційну активність аграрних підприємств. Станом на 2025 рік капітальні вкладення в агропромисловий сектор економіки скоротилися на 35-40% порівняно з періодом до повномасштабного російського вторгнення.

Економічна компонента інвестиційної діяльності стикається зі структурною деформацією джерел фінансування. Емпіричний аналіз демонструє, що сільськогосподарські підприємства фінансують понад 90% капітальних інвестицій за рахунок власних коштів, що створює значні фінансові ризики при обмеженому доступі до кредитних ресурсів. У 2024 році частка власних коштів сягнула 95,4%, тоді як банківські кредити склали лише 4,6%, а бюджетне та іноземне фінансування практично відсутні (0,03%). Такий дисбаланс суперечить світовій практиці, де оптимальною вважається структура з 25-30% залученого капіталу.

Суттєвим гальмом також є недосконалість амортизаційної політики. Балансова вартість основних засобів не відповідає ринковій, а амортизаційні фонди часто використовуються для покриття поточних потреб, що унеможливорює технологічне оновлення. У 2024 році обсяг капітальних інвестицій сягнув 79,1 млрд грн, що на 15,3 млрд грн більше, ніж у 2023 році, проте амортизаційні відрахування залишаються недостатніми для компенсації зносу виробничих засобів.

Найважливішим інструментом державної фінансової підтримки залишається програма "Доступні кредити 5-7-9%". У 2024 році 8750 господарств отримали майже 46,9 млрд гривень за цією програмою, а в період січня-жовтня 2025 року 3251 агропідприємство залучило 19,1 млрд гривень. Кредити надаються під 5-9% річних залежно від категорії, з максимальним обсягом до 90 млн гривень на підприємство.

Основними факторами, які впливають на інвестиційно-інноваційну діяльність агробізнесу, залишаються:

- високі ризики, пов'язані з погодними умовами та коливаннями цін;
- недостатній доступ до довгострокового фінансування;
- невисока капіталізація аграрних підприємств;
- складність залучення партнерських інвестицій;
- обмеження у використанні земельних ресурсів як застави для отримання кредитів.

Для покращення економічної компоненти рекомендуються:

- диверсифікація джерел фінансування включаючи партнерські програми, фонди сталого розвитку та аграрні облігації;
- розробка та впровадження механізму компенсаційної державної підтримки розвитку лізингових відносин в аграрній сфері;
- створення спеціалізованих інвестиційно-земельних компаній для активізації іпотечного кредитування земель сільськогосподарського призначення;
- запровадження механізмів державно-приватного партнерства для спільного фінансування інфраструктурних проектів;
- посилення захисту інвесторів через державне страхування інвестицій від воєнних та інших специфічних ризиків.



### Список використаних джерел

1. Стратегія конкурентоспроможного розвитку інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення сільського господарства: наукове видання / за заг. ред. О.В. Захарчука Київ : ННЦ «ІАЕ», 2023. 105 с.
2. Захарчук О. В., Вишневецька О. В., Навроцький Я. Ф., Кондратюк В. В. Нормативи капіталізації в агробізнесі при виробництві сільськогосподарської продукції: монографія / за ред. О. В. Захарчука. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2025. 100 с.
3. Стратегічні напрями інклюзивного розвитку інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення аграрного бізнесу: монографія / за заг. ред. О.В. Захарчука. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2024. 248 с.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА НА ЕЛЕВАТОРАХ

**О. В. ВОЛЯНСЬКИЙ**, викладач  
*Боярського фахового коледжу НУБіП України*  
E-mail: [volianskij.olexij@gmail.com](mailto:volianskij.olexij@gmail.com)

**Вступ.** Транспортування зерна є важливою складовою технологічного процесу його зберігання та переробки, що безпосередньо впливає на якість продукції та ефективність функціонування зернопереробних підприємств. У сучасних умовах на елеваторах застосовують різноманітні технічні засоби транспортування, серед яких найбільш поширеними є пневматичні транспортери, норії, шнекові, стрічкові та скребкові конвеєри, а також зерномети.

Особливої актуальності набуває проблема механічного травмування зерна під час транспортування. За даними досліджень, навіть незначний рівень травмування у межах 5 % може спричиняти суттєве зниження врожайності культур, що обумовлює необхідність оптимізації технологічних процесів переміщення зернових мас [1].

**Мета роботи.** Проаналізувати основні засоби транспортування зерна на елеваторах та оцінити їх техніко-експлуатаційні показники з урахуванням впливу на якість зерна.

**Матеріали та методи.** У процесі дослідження використано загальнонаукові методи: абстрактно-логічний - для узагальнення теоретичних положень; порівняльний - для аналізу технічних характеристик різних типів транспортерів; аналітичний - для оцінки їх ефективності та впливу на травмування зерна.

**Результати досліджень.** Аналіз показав, що на елеваторах застосовується широкий спектр транспортного обладнання, яке відрізняється за принципом дії, продуктивністю та впливом на якість зерна.

Пневматичні транспортери забезпечують переміщення зерна за допомогою повітряного потоку. Вони дозволяють транспортувати зерно на відстань до 200 м, піднімати його на висоту понад 20 м, при цьому швидкість повітряного потоку може досягати 30 м/с, а продуктивність - до декілька тисяч т/год. Разом із транспортуванням відбувається часткове очищення зерна та зниження його вологості до 1,5 %. Однак ці системи характеризуються високою енергоємністю та низьким коефіцієнтом корисної дії [2,3].

Норії (ковшові елеватори) є основним засобом вертикального транспортування зерна. Вони забезпечують піднімання зерна на висоту до 60 м із продуктивністю 20-200 т/год, а в сучасних моделях - до 1000 т/год. Швидкість руху стрічки становить до 2,2 м/с, що забезпечує мінімальне травмування зерна.

Шнекові транспортери застосовують для переміщення зерна на невеликі відстані - до 40 м по горизонталі та до 30 м по вертикалі. Їх продуктивність становить до 50 т/год, а частота обертання шнека - 50-150 об/хв. Основним недоліком є значне травмування зерна, яке може досягати 2-5 %.

Зерномети широко використовуються в Україні як мобільні засоби транспортування. Їх продуктивність становить 60-160 т/год, однак дальність переміщення обмежена - 20-25 м. Водночас вони характеризуються підвищеним рівнем травмування зерна. [3,4].

Стрічкові транспортери забезпечують переміщення зерна на відстань до 100 м із продуктивністю до 130 т/год при куті нахилу до 15°. Вони відзначаються високою енергоефективністю та низьким рівнем пошкодження зерна.

Скребкові конвеєри є одними з найпоширеніших завдяки компактності та універсальності. Їх продуктивність становить 25-200 т/год, довжина - 5-50 м, а допустимий кут нахилу - до 45°. Разом із тим, рівень травмування зерна може досягати до 5 % [3].

Важливим напрямом удосконалення транспортування зерна є зменшення його пошкодження. Це досягається шляхом зниження швидкості руху робочих органів, а також використання сучасних полімерних матеріалів для футерування робочих поверхонь, що дозволить знизити шум та витрати електроенергії через послаблення тертя.

**Висновки.** Установлено, що вибір транспортного обладнання на елеваторах повинен базуватися на поєднанні технічних, економічних та технологічних факторів. Найменший рівень травмування зерна забезпечують норії та стрічкові транспортери, тоді як шнекові та скребкові конвеєри характеризуються більшими втратами якості. Пневматичні транспортери є універсальними, проте поступаються за енергоефективністю.

Отже, раціональне поєднання різних типів транспортерів із урахуванням їх технічних характеристик дозволяє підвищити ефективність роботи елеваторів та забезпечити збереження якісних показників зерна.

### **Список використаних джерел**

1. Agricultural Engineering Association. "Automation Trends in Grain Handling and Elevator Operations." Proceedings of the International Symposium on Agricultural Automation. 2021. С. 55-68.
2. Стадник І. Зберігання зерна у сховищах / І. Стадник, Ю. Сухенко, В. Тези отримав. Дякую Василів // Пропозиція. 2016. № 11. С. 174-177.
3. Подпратов Г.І. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник / Г.І. Подпратов, В.І. Рожко, Л.Ф. Скалецька. К. : Аграрна освіта. 2014. С. 393.
4. Литвиненко, О. "Автоматизація робіт з зерном на елеваторах: переваги та виклики." Сучасні проблеми агроінженерії. 2019. С. 112-125.

**УДК: 621.43.038:629.33:620.178**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ЗАМІНИ ПОВІТРЯНИХ ФІЛЬТРІВ ДВИГУНІВ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЇХ НАДІЙНОСТІ**

**Ю. А. НОВИЦЬКИЙ, аспірант**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [Novickii\\_yurka@ukr.net](mailto:Novickii_yurka@ukr.net)*

Повітряні фільтри є функціонально критичними елементами системи впуску двигунів мобільних енергетичних засобів і безпосередньо впливають на ресурс циліндро-поршневої групи, паливну економічність та екологічні показники [1]. Розвиток машинобудування зумовлює підвищення вимог до ефективності фільтрації, пилоємності та гідравлічного опору фільтрувальних елементів. Порушення регламентів заміни або застосування неякісних фільтрів спричиняє інтенсифікацію абразивного зношування деталей двигуна, зростання витрат палива та підвищення токсичності відпрацьованих газів [2]. Водночас надмірно часта заміна є економічно необґрунтованою. Це актуалізує необхідність науково обґрунтованого визначення оптимальної періодичності заміни повітряних фільтрів на основі показників їх надійності.

Сучасні наукові праці підтверджують багатофакторність процесів фільтрації та деградації характеристик фільтрувальних матеріалів. Стандарт ISO 5011:2000 регламентує методи визначення забруднення, ефективності очищення та аеродинамічного опору, що є базовими параметрами оцінювання працездатності фільтра [3]. Доведено, що зменшення діаметра волокон і розміру пор сприяє підвищенню ефективності фільтрації, але супроводжується зростанням перепаду тиску.

Експериментальні дослідження показують, що зі збільшенням ступеня засмічення фільтра погіршуються показники роботи двигуна та зростають викиди. У початковий період експлуатації можливе підвищення ефективності очищення за рахунок формування пилового шару, що змінює структуру фільтрувального бар'єра. Перепад тиску на фільтрі розглядається як об'єктивний індикатор його технічного стану та основа для впровадження обслуговування за фактичним станом.

Метою роботи є аналіз факторів, що впливають на надійність повітряних фільтрів двигунів, та обґрунтування періодичності їх заміни на основі статистичної обробки експлуатаційних даних.

Для досягнення мети передбачено: збір та систематизацію емпіричних даних щодо напруження фільтрів; проведення експлуатаційних випробувань і оцінювання технічного стану; визначення критеріїв граничного стану; статистичну інтерпретацію результатів.

Об'єктом дослідження були повітряні фільтри двигунів автомобілів Mazda. Повітряний фільтр виконує функцію бар'єрного захисту ДВЗ від твердих абразивних частинок, що запобігає прискореному зношуванню поршневих кілець, стінок циліндрів і клапанного механізму.

Граничний стан фільтра визначено за сукупністю прямих і непрямих ознак. До прямих віднесено: візуальне забруднення та зміна кольору фільтрувального елемента; наявність механічних пошкоджень; перевищення допустимого перепаду тиску; збільшення маси фільтра понад нормативне значення.

Непрямими ознаками є: зниження потужності двигуна; підвищення витрати палива; нестабільність холостого ходу; потемніння відпрацьованих газів. Встановлено, що регламентна заміна через 10–20 тис. км пробігу є усередненою рекомендацією та не враховує умов підвищеної запиленості. За експлуатації в складних дорожніх умовах доцільним є скорочення інтервалу до 5–7 тис. км або застосування систем моніторингу перепаду тиску. Отримані результати підтверджують доцільність переходу від календарно-пробігового принципу ТО до стратегії обслуговування за фактичним станом. Використання датчиків перепаду тиску дозволяє своєчасно ідентифікувати досягнення граничного стану та мінімізувати експлуатаційні витрати. Запропоновано комплексний підхід до визначення граничного стану повітряних фільтрів із урахуванням поєднання прямих морфологічних та непрямих функціональних критеріїв. Результати можуть бути використані під час формування регламентів ТО, розроблення сервісних стратегій та оптимізації витрат на експлуатацію МЕЗ [4]. Запровадження контролю технічного стану фільтрів у режимі реального часу сприятиме підвищенню ресурсу двигуна та зменшенню шкідливих викидів.

Надійність повітряного фільтра МЕЗ визначається конструктивними параметрами, якістю матеріалу та умовами експлуатації. Перепад тиску є інформативним показником технічного стану фільтра. Регламентна

періодичність заміни повинна коригуватися з урахуванням запиленості середовища та режимів роботи ДВЗ автомобіля. Перехід до обслуговування за фактичним станом забезпечує зниження експлуатаційних витрат і підвищення довговічності двигуна.

#### Список використаних джерел

1. Новицький А., Ружило З., Карабиньош С., Новицький Ю. Повітряні фільтри для двигунів внутрішнього згоряння та особливості їх обслуговування. *Agroexpert*. 2018. №1 (114). С. 64–67.
2. [František Synák](#), [Alica Kalašová](#), [Ján Synák](#). Air Filter and Selected Vehicle Characteristics. *Sustainability*. 2020. №12 (22). DOI:[10.3390/su12229326](#)
3. ISO 5011:2000. Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors – Performance testing. Edition 2. 2000. 39 p.
4. Новицький А. В., Ружило З. В., Котречко О. О. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 151-157.
5. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. 12 (2). 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.

УДК 631.363:621.825.5:621.89

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КАРДАННИХ ВАЛІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ТА ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ЇХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,  
**Ю. М. НАКОНЕЧНИЙ**, студент магістратури  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
**П. І. ДЯЧЕНКО**, викладач  
*ВСП «Немішайвський фаховий коледж НУБіП України»*

Сучасне тваринництво характеризується широким застосуванням транспортно-технологічних машин для приготування та роздавання кормів: кормозмішувачів-кормороздавачів, подрібнювачів і завантажувачів кормів [1]. Передача крутного моменту від енергетичного засобу до робочих органів таких машин часто здійснюється за допомогою карданних валів. Карданна передача забезпечує передачу обертального руху між валами, що розташовані під певним кутом, і компенсує їх взаємні переміщення під час роботи агрегату.



Високі навантаження, змінні режими роботи та вплив агресивного середовища призводять до зношування елементів карданних передач, що може спричиняти вібрації, втрати потужності та відмови машин [2]. Тому дослідження технічного стану карданних валів і розроблення ефективних стратегій їх технічного обслуговування є важливим завданням забезпечення надійності транспортно-технологічних машин у тваринництві.

В наукових дослідженнях зазначається, що карданні вали є ключовими елементами трансмісії сільськогосподарських машин, оскільки вони забезпечують передачу енергії від валу відбору потужності трактора до робочих механізмів агрегатів [3, 4]. Під час експлуатації елементи карданних валів зазнають значних динамічних навантажень, що призводить до зносу хрестовин, шліцьових з'єднань і трубчастих елементів.

Окремі дослідження присвячені діагностиці технічного стану карданних передач і вдосконаленню технологій їх ремонту та балансування, оскільки порушення балансування викликає вібрації, шум та прискорене руйнування вузлів. Також в наукових роботах підкреслюється важливість системного підходу до технічного обслуговування та своєчасного контролю параметрів стану деталей для запобігання відмовам і простою техніки. Попри наявність досліджень щодо загальних питань ремонту та експлуатації карданних передач, недостатньо уваги приділяється особливостям їх роботи саме в транспортно-технологічних машинах для приготування та роздавання кормів.

Метою дослідження є аналіз технічного стану карданних валів транспортно-технологічних машин для приготування і роздавання кормів та обґрунтування стратегій їх технічного обслуговування з метою підвищення надійності і довговічності роботи машин.

Карданні передачі в машинах для приготування і роздавання кормів працюють в складних умовах, що характеризуються змінними навантаженнями, коливаннями частоти обертання та впливом пилу й агресивних середовищ. Основними елементами, що визначають працездатність карданного валу, є хрестовини, підшипники, шліцьові з'єднання та трубчастий корпус. Знос цих елементів проявляється у вигляді люфтів, підвищеної вібрації, шуму та зниження ефективності передачі потужності. Однією з важливих умов підтримання працездатності карданної передачі є своєчасне балансування, яке дозволяє зменшити динамічні навантаження та продовжити термін служби вузла.

Формування стратегій технічного обслуговування карданних валів повинно базуватися на поєднанні планово-попереджувальних заходів та методів технічної діагностики. До таких заходів належать регулярний огляд, мащення шарнірів, перевірка стану шліцьових з'єднань, контроль вібрацій і періодичне балансування. Використання сучасних методів діагностики дозволяє своєчасно виявляти дефекти та оптимізувати графіки технічного обслуговування, що сприяє зменшенню витрат на ремонт і підвищенню

ефективності експлуатації машин. Періодичність технічного обслуговування змішувачів-кормороздавачів наведено в таблиці.

Таблиця Періодичність технічного обслуговування змішувачів-кормороздавачів

| Вид обслуговування | Періодичність          | Основні операції                            |
|--------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| ЩТО                | кожні 8–10 год. роботи | Огляд, очищення, перевірка люфтів           |
| ТО-1               | 50–60 год. роботи      | Мащення шарнірів і шліців                   |
| ТО-2               | 200–250 год. роботи    | Перевірка зношування, підтягування кріплень |
| СТО                | 1–2 рази на рік        | Дефектація, балансування, консервація       |

Виходячи із зазначеного можна сформулювати наступні висновки.

1. Карданні вали є важливими елементами трансмісії транспортно-технологічних машин для приготування та роздавання кормів, забезпечуючи передачу крутного моменту від енергетичного засобу до робочих органів.

2. Основними причинами відмов карданних передач є зношування хрестовин, шліцьових з'єднань, порушення балансування та підвищені динамічні навантаження під час експлуатації.

3. Для забезпечення надійності роботи необхідно впроваджувати комплексні стратегії технічного обслуговування, що поєднують регулярний контроль технічного стану, планово-попереджувальний ремонт і застосування методів діагностики.

4. Реалізація таких стратегій дозволить підвищити ресурс карданних валів, зменшити простої техніки та забезпечити ефективну роботу транспортно-технологічних машин у системі годівлі.

5. Дотримання регламентованої періодичності технічного обслуговування карданних передач змішувачів-кормороздавачів дозволяє знизити інтенсивність зношування підшипників шарнірів та шліцьових з'єднань, підвищити надійність передачі крутного моменту і збільшити ресурс карданного валу на 25–40 %

### Список використаних джерел

1. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), pp. 101-110. doi: 10.31548/machinery/4.2023.101.
2. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. № 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>

3. Asonja A., Desnica E. (2015). Reliability of agriculture universal joint shafts based on temperature measuring in universal joint bearing assemblies. Spanish Journal of Agricultural Research. DOI: 10.5424/sjar/2015131-6371

4. Tchomeni B. X., Alugongo A. (2021). Modelling and Dynamic Analysis of an Unbalanced and Cracked Cardan Shaft for Vehicle Propeller Shaft Systems. *Applied Sciences (MDPI)*. DOI: [10.3390/app11178132](https://doi.org/10.3390/app11178132)

УДК 621.52-233.2:620.17

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕМБРАН МЕМБРАННОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

**З. В. РУЖИЛО**, к.т.н., доц.,

**О. Ю. МРАЧКОВСЬКИЙ**, аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [ruzhylo@nubip.edu.ua](mailto:ruzhylo@nubip.edu.ua), [mrachkovskyioleksii8@gmail.com](mailto:mrachkovskyioleksii8@gmail.com)*

Динамічні процеси, які відбуваються у механізмах вакуумних насосів, мають суттєвий вплив на їх продуктивність, показники надійності та енергетичну ефективність. Для мембранних вакуумних насосів значну роль відіграють еластичні властивості мембрани, оскільки саме їх частота деформацій визначає характер змін робочого об'єму та формування вакууму в системі. Метою дослідження є експериментальний аналіз динамічних процесів у мембранному вакуумному насосі без створення вакууму та порівняння впливу товщини мембрани на характеристики силових коливань і ефективність роботи механізму в цілому.

Дослідження проводились без нагнітання вакууму з метою аналізу виключно механічних процесів, пов'язаних з деформацією мембрани та роботою приводу. Дослідження виконувалися для трьох мембран різної товщини: мембрана 1 - 3,0 мм, бутилований каучук IIR-268; мембрана 2 - 1,5 мм, силіконова kSil® (Silicone Engineering); мембрана 3 - 1,0 мм. силіконова kSil® (Silicone Engineering). Для кожної мембрани експеримент проводився на трьох швидкісних режимах приводу: 145 об/хв. (швидкість 1); 170 об/хв. (швидкість 2); 220 об/хв. (швидкість 3). Сигнал з тензодатчика знімався з частотою дискретизації 5000 Гц. Для аналізу даних використовувався файл що містив 5000 точок відліку, і дозволяв детально проаналізувати динамічні коливання сили. Обробка даних експерименту відбувалося в програмі Wolfram Mathematica. Перетворення сигналу напруги у силу проводилось за допомогою попередньо визначеного калібрувального коефіцієнта  $k_n = k \cdot g = 255.69 \text{ Н/В}$ ; нульовою точкою калібрування була визначено як  $U_0 = 0.263 \text{ В}$ , а коефіцієнт перетворення  $k=26.0646 \text{ кг/В}$  (що відповідає  $255.6934 \text{ Н/В}$  при  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ).

Для виключення зсуву нульового рівня використовувалося віднімання середнього значення сигналу у вибраному часовому інтервалі.

Аналіз експериментальних даних показав, що характер динамічних навантажень має суттєву залежність від товщини мембрани. Для мембрани товщиною 3,0 мм спостерігалася найменша частоту коливання, це свідчить про підвищену жорсткість і обмежену деформаційну властивість мембрани. Зі зменшенням товщини мембрани до 1,5 мм і 1,0 мм частота коливань зростала. Це обумовлено підвищеною еластичністю мембрани та збільшенням її прогину під час робочого циклу. Найбільшу частоту коливання зафіксовано для мембрани товщиною 1,0 мм. При збільшенні швидкості обертання приводу спостерігалася зростання частоти та інтенсивності динамічних коливань для всіх мембран, однак характер впливу товщини мембрани зберігався для кожного швидкісного режиму.

Таблиця 1

| Мембрана 1    | $F_{min}, H$ | $F_{max}, H$ | $\Delta F, H$ | $F_{серед}, H$ |
|---------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| М1 – 1 швидк. | -2.2140      | 2.1563       | 4.3703        | $\approx 0$    |
| М1 – 2 швидк. | -1.9554      | 2.1027       | 4.0581        | $\approx 0$    |
| М1 – 3 швидк. | -2.0262      | 2.0319       | 4.0581        | $\approx 0$    |
| Мембрана 2    | $F_{min}, H$ | $F_{max}, H$ | $\Delta F, H$ | $F_{серед}, H$ |
| М2 – 1 швидк. | -1.5633      | 1.2462       | 2.8095        | $\approx 0$    |
| М2 – 2 швидк. | -1.6030      | 1.2065       | 2.8095        | $\approx 0$    |
| М2 – 3 швидк. | -1.4383      | 1.3712       | 2.8095        | $\approx 0$    |
| Мембрана 3    | $F_{min}, H$ | $F_{max}, H$ | $\Delta F, H$ | $F_{серед}, H$ |
| М3 – 1 швидк. | -1.1947      | 1.3027       | 2.4973        | $\approx 0$    |
| М3 – 2 швидк. | -1.4817      | 1.3278       | 2.8095        | $\approx 0$    |
| М3 – 3 швидк. | -1.0939      | 1.4034       | 2.4973        | $\approx 0$    |

#### Висновок.

Отримані результати дослідження свідчать, що зменшення товщини мембрани підвищує еластичність та збільшує амплітуду деформації та призводить до інтенсивнішої зміни робочого об'єму протягом одного циклу. Більша деформація та тонші мембрани сприяють досягненню вищої продуктивності мембранного вакуумного насоса, оскільки більша амплітуда коливань забезпечує активніший рух повітря в системі. Також експериментально підтверджено, що більша еластичність мембран забезпечує швидший вихід системи в робочий режим у реальних умовах експлуатації. Отримані результати підтверджують доцільність застосування тонших мембран у конструкціях мембранних вакуумних насосів шляхом оптимізації силових навантажень.

#### Список використаних джерел

1. Ружи́ло З.В., Мрачківський О. Ю. Використання матеріалів у вакуумних системах Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження

проф. Крамарова В. С. 22-23 лютого 2024 р., К.: Видавничий центр НУБіП України. С. 18-20

2. Ружи́ло З.В. Види пошкоджень деталей вакуумних пластинчато - роторних насосів та їх кількісна оцінка. - Київ, НАУ, 1997

3. Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок Національна академія аграрних наук України, інститут механізації тваринництва, Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Огли, За редакцією доктора технічних наук, член-кореспондента НААН України, професора І. А. Шевченка Запоріжжя. 2013 р. С. 85–91.

4. Ружи́ло З.В. Зусилля притискування лопатки до корпусу вакуумного насосу та його вплив на зношування контактуючих поверхонь. - Київ, НАУ, 1998

5. Підвищення надійності та обґрунтування параметрів водокільцевих вакуумних насосів, доїльних агрегатів, Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка, 2008 р. с.30-35.

6. Алієв Е. Б., Тісліченко О. С. Конструкційно-технологічна схема комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів доїльного обладнання. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2011. Вип. 41, ч. 1. С. 428–432.

7. Технології матеріалів та зварювання, Міністерство освіти і науки України Вінницький національний технічний Університет, А. М. Василенко, Вінниця 2013 р.

## **АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ РАДІАЛЬНОГО ЗАЗОРА В ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ**

**К. В. КЕСОРЕЦЬКИХ**, студент

**Ю. І. РЕВЕНКО** кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Надійність та довговічність, характеристики підшипникових вузлів значною мірою визначаються станом внутрішнього радіального зазора. Зазор не є статичною величиною; він зазнає суттєвих змін внаслідок монтажних натягів та нерівномірного термодинамічного розширення елементів конструкції.

Радіальний зазор у підшипнику кочення - це вільний простір між тілами кочення (кульками чи роликами) та біговими доріжками кілець. Простіше кажучи, це те, наскільки внутрішнє кільце може зміститися відносно зовнішнього в радіальному напрямку.

Це не просто відносне переміщення, а критично важливий параметр, від якого залежить, величина ресурсу механізму.



Для вирішення цього питання потрібно сформулювати функціональні завдання, які вирішує наявність радіального зазора:

1. Температурне розширення. Під час роботи підшипник нагрівається. Метал розширюється, і якщо зазору не буде, тіла кочення просто затисне між кільцями.

2. Посадка на вал. Коли напресовується підшипник на вал (посадка з натягом), внутрішнє кільце трохи розтягується. Це "з'їдає" частину початкового зазору.

3. Компенсація невідповідності геометрії елементів. Невеличкий зазор дозволяє підшипнику витримувати мінімальні неспіввісності вала та корпусу.

Важливо розрізняти величину зазору в підшипнику в залежності від життєвого циклу:

- початковий (розрахунковий) зазор. Це зазор підшипника в незмонтованому стані (до монтажу). Виробник закладає його з урахуванням того, що під час встановлення та роботи він зменшиться. Його величина залежить тільки від точності виготовлення на заводі.

- посадковий зазор. Величина зазору, яка залишається після монтажу відповідно в вузол. Під час монтажних робіт, внутрішнє кільце розширюється, а зовнішнє кільце (якщо посадка в корпусі щільна) стискається. Внаслідок цього – початковий зазор зменшується на величину натягу. Якщо вибрати занадто тугу посадку для підшипника, зазор може зникнути зовсім ще до початку роботи.

- робочий зазор. Це зазор, який встановлюється (утворюється) в підшипнику під час роботи, після досягнення стабільної робочої температури. Ідеал варіант реалізації робочого зазору - коли величина зазору близька до нуля або має мінімальне додатне значення. На нього впливають два протилежні фактори:

- а) температурний перепад, коли внутрішнє кільце зазвичай гарячіше за зовнішнє (тепло йде від вала), воно розширюється більше ніж зовнішнє, тим саме зменшуючи величину зазору.

- б) робоче навантаження, яке під дією сил утворюють мікродеформації в місцях контакту тіл кочення, які можуть додатково трохи збільшити фактичне мікропереміщення (люфт) елементів підшипника.

Згідно з міжнародними стандартами (ISO), маркування значення зазору позначаються літерою «С» з цифрою. Якщо на підшипнику немає такого маркування, це означає "нормальний зазор" (Normal).

При проектуванні важливо не помилитися з призначенням посадки з відповідною величиною радіального зазора. Невірне значення може привести до певних наслідків під час експлуатації вузла:

- замалий зазор – призводить до підвищеного тертя, сильного нагріву, руйнування мастила, лінійного розширення та заклинювання;

- завеликий зазор – веде до вібрації, додаткового шуму, биття вала та нерівномірного розподілу динамічного навантаження на тіла кочення та до швидкої втоми металу.

#### Маркування підшипників за значеннями зазору

| Маркування  | Значення                         | Приклади використання                                      |
|-------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| C2          | <i>Менше нормального</i>         | <i>Висока точність, мінімальні вібрації</i>                |
| CN (Normal) | <i>Нормальний</i>                | <i>Стандартні умови роботи (найпоширеніший)</i>            |
| C3          | <i>Більше нормального</i>        | <i>Високі оберти, сильне нагрівання або щільна посадка</i> |
| C4 / C5     | <i>Значно більше нормального</i> | <i>Екстремальні температури (печі, гарячі вузли)</i>       |

Діагностика стану підшипника за радіальним зазором - це один із найнадійніших способів визначити ступінь його спрацювання до того, як він остаточно вийде з ладу. Коли величина зазору перевищує норму, це прямий сигнал про критичний знос доріжок або самих тіл кочення.

Залежно від розміру підшипника та його доступності, використовують два основні методи визначення наявності радіального зазора:

- Метод «на дотик» (для малих підшипників) - це швидка перевірка. При цьому способі фіксується зовнішнє кільце та похитується внутрішнє в радіальному напрямку. Якщо чітко відчувається люфт (або «клацання», або вільний хід), зазор, швидше за все, перевищує норму (для малих підшипників він має бути майже невідчутним).

- Метод із використанням індикатора годинникового типу. Це метод дозволяє отримати конкретні кількісні значення величини радіального зазора. Послідовність дій при визначенні дійсного значення зазору полягає в наступному: закріплюються зовнішнє кільце підшипника нерухомо; встановлюється ніжка індикатора на робочу поверхню внутрішнього кільця; внутрішнє кільце переміщують вгору, а потім - униз із помірним зусиллям (без перекосів); визначають різницю в показах індикатора, що і буде величиною радіального зазора.

Якщо з певних особливостей не можна розібрати підшипниковий вузол, то необхідно звернути увагу на непрямі ознаки зміни зазору під час експлуатації:

- Нагрів. Якщо робочий зазор став замалим (наприклад, через неправильний підбір або надмірний натяг), підшипник почне грітися понад 80-90°C навіть при нормальному змащуванні.

- Шум (гул). Нерівномірний гул часто свідчить про те, що зазор став занадто великим, і кульки починають «проковзувати» або битися об доріжки.

- Вібрація. Вимірювання приладом часто показує піки на частотах, що відповідають зносу доріжок (що і є причиною збільшення зазора).

Отримане значення потрібно порівняти з табличними даними виробника (SKF, FAG, NSK тощо). Однак є загальні закономірності:

- хід плавний, сторонніх звуків немає, стан зазора у межах норми, можна продовжувати експлуатацію;

- з'являється шум, вібрація, вал починає «бити», стан зазора збільшений (вище допуску), необхідна планова заміна найближчим часом.

- суттєвий видимий люфт, металевий пил у мастилі, стан зазора надмірний (критичний), підшипник потребує термінової заміни, є ризик руйнування сепаратора.

Отже, оптимізація робочого зазора є ключовим завданням при розрахунку підшипникового вузла. Ідеальним станом вважається мінімально позитивне значення, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження на тіла кочення та мінімізує динамічні зусилля. Невірне врахування перепадів температур або похибки при виборі посадок призводять або до передчасного втомного руйнування (при надмірній величині зазору), або до термічного заклинювання вузла (при від'ємній величині робочого зазора).

## INCREASING THE RELIABILITY OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM

**R. SHEVLYUGA**, student

**Y. REVENKO**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

The operational reliability of the fuel supply system (FSS) is critically important for the effective functioning of modern internal combustion engines. One of the main reasons for the decrease in this reliability is fuel contamination, which leads to the formation of resinous deposits and carbon deposits on the elements of the fuel system, in particular on the injectors. This, in turn, causes the valve needles to stick and disrupt the optimal engine operation. Despite the manufacturers' recommendations on filter replacement intervals, their actual service life is significantly reduced, which creates extreme conditions for the functioning of the FSS.

Fuel contamination can occur at various stages of its transportation and storage. At oil depots and gas stations, particles from railway and automobile tanks enter the fuel. Additionally, corrosion products of tanks and pipelines, wear particles of parts of pumping systems, atmospheric dust, moisture, as well as oxidation and condensation products of unstable hydrocarbons can enter the fuel.

In the fuel tanks of vehicles, the concentration of contaminants can reach 10-40 g/t under normal conditions and 200-400 g/t in regions with increased dustiness. The vast majority of particles have a size in the range of 10-40 microns.

The main ways of contamination are:

- organic substances - resins, polymers, products of fuel interaction with microorganisms, which are characterized by high viscosity and stickiness.
- water - can cause corrosion and promote microbiological growth.
- mineral compounds - metal particles, oxides and other inorganic impurities.

Solid particles in fuel are usually in a dispersed or colloidal state. Over time, they agglomerate and precipitate, which leads to a deterioration in fuel pumpability and its stability.

Fuel contamination during vehicle operation causes a violation of the technical condition of a number of components of the electronically controlled engine's fuel system:

- coarse and fine filters can lead to rupture of the filter element, clogging, loss of efficiency.
- from the fuel pump: jamming of plunger pairs, clogging of the check valve.
- contamination of the fuel rail leads to the deposition of resinous formations, which in turn can lead to uneven fuel distribution and loss of power.
- poor-quality fuel affects the pressure regulator by disrupting the valve's tightness, unstable fuel pressure.
- injectors: filter clogging, wear and clogging of nozzles, changing the valve opening/closing time, up to complete failure.

The consequence of these violations is a decrease in engine power, increased detonation during acceleration, unstable operation in different modes, difficult starting, increased fuel consumption. These problems entail significant costs for diagnostics and repairs.

It is necessary to note the main ways of cleaning the fuel supply system.

One of the common methods of preventive cleaning of the fuel system is to add special detergent additives directly to the fuel tank. These additives (usually 200-500 ml per 40-80 liters of fuel) are designed to clean all elements of the fuel system: the fuel tank, fuel pump, fuel lines, fuel rail, pressure regulator and injectors. Experience shows that this method can restore the operability of even partially jammed fuel pumps by dissolving resinous deposits. However, with significant contamination, there is a risk of displacement of deposits from the tank and fuel lines, which can lead to clogging of the fine filter and injectors. Therefore, this method is more effective for preventive cleaning and cleaning of injectors with minimal contamination of other elements of the fuel system. It is recommended to repeat the procedure every 2-4 thousand km. In addition to cleaning the injectors, additives can help remove carbon deposits from the intake valve stems and the combustion chamber. It is worth noting that when used on engines with significant wear of the cylinder-piston group (CPG), removing carbon deposits from the piston grooves can lead to a temporary decrease in compression.

Flushing using special installations involves connecting special installations to supply washing fluid directly to the fuel rail, excluding the fuel tank, pump and fuel lines from the process.

Flushing is carried out by operating the engine on washing fluid in different modes. According to literature, a positive result is achieved in 60-90% of cases. In other cases, repeated flushing or dismantling of the injectors may be required. The quality of flushing is controlled by indirect signs.

Cleaning of dismantled injectors can be carried out by two main methods.

Washing with highly effective cleaning solutions. This method is implemented on stands that simulate the operation of the nozzle, but with the supply of cleaning solvent instead of gasoline. During the operation of the technological equipment, it is possible to adjust the parameters of the pulses that feed the nozzle to create cavitation on the valve surface, which significantly increases the cleaning efficiency. Cleaning in an ultrasonic bath involves immersing the injectors in a cleaning solution that is subjected to ultrasonic vibrations. This method allows the use of less toxic cleaning fluids.

After flushing the dismantled injectors, it is recommended to replace the fine filters. It is important to note that this method cleans only the injectors, leaving the other elements of the fuel injection system unwashed. In the event of severe contamination of the rest of the system, there is a risk of re-contamination of the injectors, which will require additional cleaning of the fuel tank, fuel lines and ramp. Existing methods of preventive cleaning of the fuel supply system do not always ensure its complete restoration to a good technical condition, especially in the case of significant contamination. An integrated approach, including regular monitoring of fuel quality, timely replacement of filters and the combined use of cleaning methods, is necessary to maintain optimal operational reliability of the fuel injection system. Further research should be aimed at developing more effective and comprehensive solutions to combat fuel contamination.

## **THE RELEVANCE OF IMPROVING THE DIAGNOSTICS OF FUEL INJECTORS OF DIESEL POWER PLANTS**

**O. PAVLISHIN**, student

**Y. REVENKO**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

The development of global economies is leading to an increase in the number of vehicles, posing a serious challenge to the planet's ecology. This situation is driving the efforts of scientists and engineers to address the tradeoff between environmental performance and the functional performance of powertrains by



improving the design of fuel delivery systems. To this end, research is being conducted on the feasibility of using alternative fuels in diesel engines.

When developing a modern diesel powertrain, performance, fuel economy, and, most importantly, environmental performance are paramount. With the increasing number of vehicles with internal combustion engines, the increase in exhaust emissions is also a concern. This forces diesel vehicle manufacturers to improve their fuel delivery systems.

To meet stringent environmental requirements, diesel vehicles are equipped with modern, high-precision fuel delivery systems. Deterioration of virtually any component significantly impacts the environmental performance and, subsequently, the vehicle's operational performance, which is why the technical condition of the fuel delivery system must be systematically monitored.

However, given the accumulated scientific experience, monitoring the technical condition of these sophisticated and technically complex fuel delivery systems presents a number of challenges, which, in turn, require new knowledge, methods, and solutions. The most important and least reliable components of the fuel delivery system are the electrohydraulic injectors (EHI). Currently, EHI diagnostics is an expensive and labor-intensive procedure, as it is performed on specialized stands and involves extensive disassembly and assembly.

When the injectors are located under the valve cover, the common return line is an accessible location for diagnostic checks, but existing methods can only determine the general technical condition and the need to remove all EHIs.

Attempts to reduce the labor intensity and improve the information yield of monitoring the technical condition of automotive diesel fuel delivery systems using existing methods are faced with a contradiction caused by a lack of information on the patterns of pressure and fuel flow changes in the common return line of common rail fuel delivery systems as the EHIs wear out. In this regard, there is a need to develop a technological process aimed at reducing labor intensity and increasing the efficiency of diagnostics of electro-hydraulic injectors of the Common Rail system.

**УДК 338.43**

## **ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**С. А. ВІНЦОВСЬКИЙ**, аспірант  
*ННЦ "Інститут аграрної економіки"*  
*E-mail: vintskovskyi@gmail.com*

Необхідно відзначити, що сучасний етап соціально-економічного розвитку характеризується посиленням дестабілізаційних процесів у

національних та глобальних економічних системах, зростанням рівня інституційної невизначеності та загостренням проблеми обмеженості фінансово-ресурсного забезпечення суб'єктів господарювання. Очевидно, що за таких умов особливої наукової та практичної актуальності набуває проблема ефективного формування, відтворення та раціонального використання матеріально-технічної бази, яка виступає одним із базових факторів забезпечення сталого функціонування економічних систем, підтримання їх конкурентних переваг та досягнення стратегічних орієнтирів розвитку.

Нині матеріально-технічна база розглядається не лише як сукупність засобів праці, виробничої інфраструктури та техніко-технологічного оснащення, а як складна багатокomпонентна система, яка забезпечує реалізацію дієвих управлінських рішень, сприяє впровадженню інноваційних технологій, модернізації виробничих процесів та підвищенню ефективності господарської діяльності в умовах обмеженості ресурсів.

Не секрет, що якісний стан матеріально-технічної бази детермінує продуктивність праці, структуру собівартості продукції, рівень технологічної зрілості організації, а також її адаптаційний потенціал у контексті трансформаційних процесів зовнішнього інституційного середовища [1-4]. Хотілося б відмітити, що за умов ресурсної обмеженості, що проявляється у дефіциті фінансових, матеріальних та часових ресурсів, застосування традиційних управлінських підходів стосовно оновлення та нарощування матеріально-технічної бази, на жаль, не забезпечує належного рівня ефективності функціонування агентів ринку. Це актуалізує необхідність розроблення комплексних методичних підходів, орієнтованих на пріоритетне і раціональне використання ресурсного потенціалу, підвищення технологічного рівня та забезпечення довгострокової економічної ефективності організаційної діяльності.

Переконані, що важливою складовою методичного забезпечення функціонування підприємств є діагностування ефективності використання матеріально-технічної бази, яке, у свою чергу, передбачає інтегроване застосування системи кількісних та якісних показників. До речі, до таких індикаторів належать, зокрема, коефіцієнти завантаження обладнання, рівень простоїв, параметри енергоефективності, витрати на технічне обслуговування та ін. Цілком очевидно, що системний аналіз цих показників дозволяє виявляти внутрішні резерви підвищення продуктивності та оптимізації експлуатаційних процесів матеріально-технічної бази без необхідності значних додаткових ресурсних вкладень, що є критично важливим у контексті обмеженості ресурсів. На нашу думку, такий підхід сприяє забезпеченню раціональної організації ресурсів та підвищенню економічної ефективності діяльності організації в цілому.

Варто відзначити, що формування матеріально-технічної бази в умовах обмежених ресурсів має здійснюватися на засадах пріоритетності, економічної доцільності та адаптивності. Так, принцип пріоритетності передбачає

концентрацію обмежених ресурсів на тих елементах матеріально-технічної бази, які здатні забезпечити максимальний вплив для досягнення стратегічно значущих результатів діяльності економічних агентів. А це означає відмову від рівномірного фінансування всіх напрямів і спрямування уваги вищого менеджменту та / або власників підприємств виключно на критично важливі об'єкти, здатні забезпечити конкурентні переваги та підвищення ефективності функціонування агентів ринку.

Потрібно відмітити, що принцип адаптивності характеризується здатністю матеріально-технічної бази оперативно реагувати на інституційні трансформації, технологічні інновації та зміни структури попиту на продукцію. Водночас принцип економічної доцільності передбачає системне обґрунтування управлінських рішень з позицій оптимального співвідношення витрат і очікуваних результатів протягом усього життєвого циклу об'єктів матеріально-технічної бази.

На нашу думку, особливого значення в умовах ресурсної обмеженості набуває економічна ефективність оновлення матеріально-технічної бази. На практиці використання лізингових механізмів, аутсорсингу, оренди та інструментів державно-приватного партнерства сприяє зменшенню одноразового фінансового навантаження, диверсифікації ризиків, а також забезпечує доступ до сучасних технологій без необхідності здійснення значних капітальних вкладень. Методологічне забезпечення вибору оптимальної форми оновлення повинно враховувати специфіку діяльності суб'єкта господарювання та його стратегічні пріоритети розвитку.

Слід також підкреслити, що ефективне використання матеріально-технічної бази в умовах обмежених ресурсів тісно корелює з підвищенням якості системи управління. Запровадження сучасних методів управлінського планування, моніторингу та контролю забезпечує підвищення прозорості процесів використання ресурсів і сприяє формуванню раціональної моделі прийняття управлінських рішень.

Матеріально-технічна база сільського господарства виступає системоутворюючим фундаментом аграрного виробництва, тому що її формування і розвиток досить часто відрізняються високою структурною складністю та неоднорідністю. Це обумовлено поєднанням різноманітних матеріальних ресурсів, засобів праці та об'єктів біологічної природи. Саме тому, використання матеріально-технічної бази здійснюється у тісному взаємозв'язку із територіальними особливостями та галузевою спеціалізацією сільськогосподарського виробництва.

Наявний рівень розвитку матеріально-технічної бази вітчизняного сільського господарства не відповідає об'єктивним вимогам забезпечення ефективного та сталого функціонування аграрного сектору економіки. Значний фізичний і моральний знос основних виробничих засобів, поєднується з недостатніми темпами оновлення технічних ресурсів. За таких умов процеси вибуття сільськогосподарської техніки та обладнання систематично

переважають над їх надходженням, що зумовлює скорочення чисельності та поглиблення старіння машинно-тракторного парку.

Отож, слід констатувати, що наявна техніко-технологічна відсталість матеріально-технічної бази в Україні є наслідком тривалого порушення відтворювальних процесів, а також результатом відсутності комплексних та науково обґрунтованих підходів до її формування, оновлення та ефективного використання. Безперечно, що негативний вплив цих факторів проявляється у зниженні продуктивності аграрного виробництва, погіршенні фінансово-економічних результатів діяльності суб'єктів господарювання сільськогосподарського сектору та зростанні їх технологічної залежності. У довгостроковій перспективі така ситуація створює ризики для забезпечення продовольчої безпеки держави та обмежує можливості реалізації стратегічних завдань економічної політики, зокрема у сфері розвитку внутрішнього виробництва та здійснення імпортозаміщення продовольчої продукції.

### **Список використаних джерел**

1. Стратегія конкурентоспроможного розвитку інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення сільського господарства: наукове видання / за заг. ред. О.В. Захарчука. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2023. 96 с.
2. Формування ринків матеріально-технічних ресурсів АПК / Г. М. Підлісецький та ін. Київ: ННЦ ІАЕ, 2001. 428 с.
3. Михайлов М. Г. Інноваційно-інвестиційний розвиток матеріально-технічної бази аграрних підприємств. Київ : ННЦ «ІАЕ». 2018. 334 с.
4. Захарчук О. В., Мацибора Т. В., Вишневецька О. В., Навроцький Я. Ф. Методичні рекомендації щодо аналітичних оцінок і прогнозу ринку паливно-енергетичних ресурсів для аграрного сектору економіки. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2021. 76 с.

**УДК 334.7:631.115.8**

### **ФОРМУВАННЯ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА (ДПП) У СФЕРІ ЗЕРНОВОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ**

**А. В. КОВАЛЕНКО**, аспірант,

<https://orcid.org/0009-0008-6395-1360>

*Національний науковий центр “Інститут аграрної економіки”.*

*E-mail: koval\_sky@ukr.net.*

Удосконалення портової інфраструктури на засадах державно-приватного партнерства має стратегічне значення для забезпечення глобальної продовольчої безпеки. Україна експортує понад 90 млн тонн зерна морськими шляхами через

Чорне море, підтримуючи функціонування «зернового коридору» навіть в умовах військових дій. Щоденно через національні порти відвантажуються судна до 55 країн світу, багато з яких (зокрема держави Північної Африки) не мають економічно доступних альтернативних маршрутів постачання. Водночас війна завдала суттєвих руйнувань транспортній інфраструктурі: пошкоджені або заблоковані портові потужності та залізничні лінії, зростають черги на елеваторах. Це обумовлює необхідність запровадження партнерських моделей, що дозволяють приватним інвесторам вкладати капітал та експертизу в модернізацію логістичних об'єктів. На законодавчому рівні вже вжиті низка заходів для активізації ДПП: прийнято у другому читанні законопроект, спрямований на спрощення бюрократичних процедур та залучення до 1 млрд дол. інвестицій у найближчі роки [1; 2]. Зазначене свідчить про нагальну потребу консолідації зусиль держави та приватного сектора для розвитку зернової логістики.

Ефективна реалізація ДПП у даній галузі вимагає чітких методологічних засад, зокрема: прозорих критеріїв відбору проектів, пілотних ініціатив, що враховують воєнні ризики, та механізмів їх страхування (наприклад, форс-мажорне страхування, державні гарантії від збитків через бойові дії). Також запроваджується дистанційна система укладання договорів ДПП, що прискорює процеси підписання та впровадження проектів. Новий законодавчий акт наближає національне правове поле до європейських стандартів, спрощуючи процедури та впроваджуючи фінансові гарантії для інвесторів [2].

Запропонована модель ДПП має ґрунтуватися на комплексному підході, що інтегрує державну політику, інституційну підтримку та інвестиційні інструменти.

По-перше, інституційна основа повинна передбачати створення міжвідомчого координаційного центру (на кшталт офісу ДПП зернової інфраструктури) за участю представників Міністерства економіки, Міністерства інфраструктури, «Укрзалізниці», Адміністрації морських портів України та аграрного сектору для спільної підготовки проектів. Це забезпечить уніфікацію стандартів ДПП, прискорить узгодження умов концесійних конкурсів та нагляд за їх виконанням.

По-друге, необхідно чітко розподілити ролі держави та бізнесу. Держава відповідає за визначення стратегії (наприклад, створення логістичного хабу від карпатського насінневого узбережжя до Дунайського каналу), забезпечення безпеки об'єктів та надання концесійних прав або пільг (законодавчих, земельних, митних). Також держава може здійснювати співфінансування проектів через спеціальні бюджети відновлення або міжнародні гранти. Приватний партнер, зі свого боку, інвестує в будівництво та модернізацію елеваторів, портових терміналів, залізничних під'їзних шляхів, впроваджує новітні технології (наприклад, digital grain handling) та приймає на себе операційні ризики експлуатації.

По-третє, форми фінансування мають бути диверсифікованими. Важливим інструментом може стати кредитно-гарантійна підтримка міжнародних



фінансових інституцій (ЄБРР, ІФС, ЄІБ), які можуть надавати довгострокові кредити або облігації під державні гарантії. Також можливе використання механізму *gap-funding* (компенсація державою частини капітальних витрат), випуск облігацій місцевих чи державних підприємств, а також прямі інвестиції приватного капіталу. Ключовою перевагою ДПП є залучення приватних інвестицій без збільшення державного боргу [3]. Фінансування може супроводжуватися поетапними платіжними механізмами, коли інвестор отримує дохід, пропорційний обсягам перевезень зерна, а також концесійні платежі від держави.

По-четверте, управління ризиками є критичною складовою моделі. В умовах перманентної воєнної загрози необхідно передбачити створення страхових фондів (державні програми страхування військових ризиків для інфраструктури), контрактні гарантії мінімальних обсягів перевезень (оф-тейк контракти з трейдерами) та механізми індексації тарифів у разі інфляції чи форс-мажору. У межах консорціуму ДПП доцільно, щоб держава взяла на себе відповідальність за питання безпеки (протимінний захист, обладнання укриттів, енергозабезпечення), а приватний партнер — за будівництво та технічну експлуатацію. Такий розподіл забезпечує компроміс: держава зменшує інвестиційне навантаження, а бізнес отримує гарантії захисту інвестицій від зовнішніх негативних впливів.

Усі перелічені компоненти мають функціонувати в єдиному логістичному кластері зернової галузі –інтегрованому ланцюзі від виробництва та зберігання до експортних портів. Наприклад, модель може поєднувати концесійні проекти в портах із розвитком залізничних коридорів та елеваторних потужностей із залученням ДПП. Кластер очолюватимуть спільні інвестиції в модернізацію перевалочних вузлів, будівництво естакад, під'їзних автодоріг та зернових ліній, де державні гарантії та регуляторний супровід поєднуються із бізнес-стратегіями. Така цілісна модель дозволяє не лише оновити окремі об'єкти, а й сформувати ефективний проект-орієнтований ланцюг поставок зерна на світовий ринок, реалізуючи переваги ДПП: залучення додаткового капіталу, підвищення якості послуг та прискорення будівництва критичної інфраструктури.

Нова модель ДПП має будуватися на комплексному підході, що об'єднує державну політику, інституційну підтримку та інвестиційні інструменти:

1. Посилення нормативно-правової бази: оперативна імплементація змін до законодавства про ДПП, створення пілотного електронного майданчика для торгівлі концесійними правами та спрощення процедур узгодження, що відповідає очікуванням мільярдних інвестицій [2].

2. Універсалізація успішних практик: прискорення реалізації підготовлених концесійних конкурсів у портах Чорноморськ і залізнично-поромному комплексі «Чорноморськ», а також подача нових проектів для морських та річкових портів та будівництва елеваторів на засадах ДПП [4].

3. Механізми підтримки інвесторів: запровадження програм страхування воєнних та операційних ризиків (через державний фонд), пільгового оподаткування або повернення ПДВ на інвестиційні витрати, надання держгарантій за кредитами для великих проектів.

4. Розвиток інтегрованих логістичних рішень: ініціювання створення логістичних кластерів ДПП, що об'єднують порти, залізничний транспорт та елеватори, орієнтовані на експорт. Наприклад, формування скоординованих коридорів «Захід – Схід» через порти Одеси та Чорноморська із єдиним обліком вантажопотоків.

5. Підвищення спроможності державних інститутів: створення спеціалізованого проектного офісу ДПП при профільних міністерствах для супроводу проектів та розвитку кадрового потенціалу. Забезпечення прозорості відбору партнерів та публічної звітності щодо виконання проектів ДПП.

Впровадження запропонованих заходів сприятиме підвищенню ефективності зернової логістики України, залученню інвестицій у модернізацію ключової інфраструктури, поліпшенню якості та швидкості поставок. Світовий досвід підтверджує, що чітке розмежування ролей та ризиків між державними та приватними партнерами дозволяє успішно вирішувати масштабні логістичні завдання. Українська модель ДПП у зерновій сфері посилить регуляторну функцію держави та залучить в агропромисловий сектор необхідний капітал і технології. Такий синергетичний ефект сприятиме економічному зростанню та стабілізації зернового експорту в найближчі роки.

### Список використаних джерел

1. Україна зберігає морський експорт і свій внесок у глобальну продовольчу безпеку, - Олексій Кулеба про роботу портів в умовах війни | Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mindev.gov.ua/news/ukraine-zberihaie-morskyi-eksport-i-svii-vnesok-u-hlobalnu-prodovolchu-bezpeku-oleksii-kuleba-pro-robotu-portiv-v-umovakh-viiny> (дата звернення: 06.02.2026)

2. Концесія і ДПП: що змінює новий закон для залізниці URL: <https://www.railinsider.com.ua/derzhavno-pryvatne-partnerstvo-zaliznytsia/> (дата звернення: 07.02.2026)

3. Мігай Н. Моделі державно-приватного партнерства в управлінні логістичною інфраструктурою територій. *Економіка та суспільство*. 2022. №45. doi <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-48> [economyandsociety.in.ua](https://economyandsociety.in.ua)

4. Державно-приватне партнерство (Public-Private Partnerships) - Міністерство інфраструктури України URL: <https://mtu.gov.ua/content/erzhavnoprivatne-partnerstvo-publicprivate-partnerships.html> (дата звернення: 08.02.2026)

УДК 311:352(477+4)

## МУНІЦИПАЛЬНА СТАТИСТИКА В УКРАЇНІ ТА В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ: СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ

**О.А. НОВИЦЬКА**

*Головне управління статистики в Київській області  
м. Київ, Україна*

В сучасних умовах розвитку системи публічного управління та децентралізації влади особливого значення набуває формування ефективної системи муніципальної статистики [1]. Вона виступає важливим інструментом інформаційного забезпечення органів місцевого самоврядування, сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень, оцінюванню соціально-економічного стану територіальних громад та формуванню стратегій їх розвитку.

В країнах Європейського Союзу муніципальна статистика є складовою частиною багаторівневої статистичної системи, що базується на принципах стандартизації, відкритості даних та інтеграції інформаційних ресурсів [2]. В Україні розвиток муніципальної статистики набув особливої актуальності в умовах адміністративно-територіальної реформи та формування об'єднаних територіальних громад. Водночас існує низка організаційних, методологічних та технічних проблем, які стримують ефективне функціонування цієї системи в Україні.

Метою дослідження є аналіз особливостей розвитку муніципальної статистики в Україні та країнах Європейського Союзу, визначення її стратегій розвитку, а також оцінка переваг, недоліків і перспектив подальшої реалізації.

Муніципальна статистика являє собою систему збору, обробки, аналізу та поширення статистичних даних, що характеризують соціально-економічний розвиток окремих територіальних громад, міст і регіонів. Основним її призначенням є забезпечення інформаційної підтримки діяльності органів місцевого самоврядування та формування об'єктивної бази для планування територіального розвитку.

В країнах Європейського Союзу муніципальна статистика функціонує в межах інтегрованої статистичної системи, яка ґрунтується на єдиних методологічних підходах і стандартах. Значна увага приділяється використанню цифрових технологій, відкритих даних, геоінформаційних систем та інтеграції статистичних і адміністративних джерел інформації. Важливим елементом є застосування територіальної класифікації, що забезпечує можливість порівняння статистичних показників між регіонами різних країн.

Основними стратегічними напрямками розвитку муніципальної статистики в Європейському Союзі є: інтеграція статистичних і адміністративних даних;

цифровізація процесів збору та обробки інформації; розширення доступу до відкритих статистичних ресурсів; підвищення якості та оперативності статистичних показників; використання сучасних аналітичних інструментів для підтримки регіональної політики.

В Україні формування системи муніципальної статистики перебуває на етапі активного розвитку. Адміністративно-територіальна реформа та створення територіальних громад зумовили потребу в отриманні детальної статистичної інформації на локальному рівні. Основними джерелами таких даних є офіційна державна статистика, адміністративні реєстри, а також інформаційні системи органів місцевого самоврядування [1].

Серед основних переваг розвитку муніципальної статистики можна виділити:

- підвищення обґрунтованості управлінських рішень на місцевому рівні; забезпечення прозорості діяльності органів влади;
- можливість моніторингу соціально-економічного розвитку громад;
- покращення планування регіональної та місцевої політики.

Водночас існує низка проблем функціонування муніципальної статистики в Україні які потребує вивчення та реалізації. Зокрема:

- обмежена деталізація статистичних даних на рівні територіальних громад;
- недостатня інтеграція статистичних та адміністративних інформаційних систем;
- нерівномірний рівень розвитку цифрової інфраструктури;
- обмеженість кадрового та методологічного забезпечення.

Перспективи розвитку муніципальної статистики в Україні пов'язані з подальшою цифровою трансформацією державного управління, розширенням використання адміністративних реєстрів, впровадженням геоінформаційних технологій та гармонізацією статистичних стандартів із практиками Європейського Союзу. Важливим напрямом є також розвиток систем відкритих даних та підвищення аналітичної спроможності органів місцевого самоврядування.

Отже, муніципальна статистика є важливим елементом інформаційної інфраструктури сучасного публічного управління, що забезпечує формування достовірної та актуальної бази даних для прийняття управлінських рішень на місцевому рівні. Досвід країн Європейського Союзу свідчить про ефективність інтегрованих статистичних систем, які базуються на стандартизованих методологіях, цифрових технологіях та відкритості інформації.

В Україні розвиток муніципальної статистики відбувається в умовах адміністративно-територіальних трансформацій та потребує подальшого вдосконалення організаційних і методологічних засад її функціонування. Основними перспективними напрямками є цифровізація статистичних процесів, інтеграція інформаційних систем, підвищення якості статистичних даних та гармонізація національної статистичної системи з європейськими стандартами.

Реалізація зазначених заходів сприятиме підвищенню ефективності управління територіальним розвитком, посиленню прозорості діяльності органів влади та формуванню сучасної інформаційної основи для сталого розвитку територіальних громад.

#### **Список використаних джерел**

1. Про затвердження Програми розвитку офіційної статистики до 2028 року : постанова Кабінету Міністрів України від 15 вересня 2023 р. № 989 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/989-2023-%D0%BF> (дата звернення: 14.03.2026).
2. Regional statistics manual. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. 312 p. DOI: <https://doi.org/10.2785/98733>

**УДК 621.793.927.7**

### **ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ТЕХНІКИ**

**П. С. ПОПИК**, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Грунтообробні машини є одними з найбільш навантажених видів сільськогосподарської техніки, оскільки працюють у безпосередньому контакті з ґрунтом, абразивними частинками та рослинними рештками. У процесі експлуатації робочі органи та інші деталі таких машин зазнають інтенсивного абразивного зношування, ударних навантажень і корозійного впливу, що призводить до втрати їх геометричних параметрів, зниження якості обробки ґрунту та підвищення енергетичних витрат. Тому відновлення працездатності деталей ґрунтообробних машин є важливим технічним і економічним завданням сучасного аграрного виробництва.

Працездатність деталей ґрунтообробних машин визначається їх здатністю забезпечувати задану глибину, рівномірність і якість обробки ґрунту за мінімальних витрат енергії. Найбільш інтенсивному зношуванню піддаються лемеші, полиці плугів, лапи культиваторів, диски борін, ножі подрібнювачів, а також посадкові та напрямні поверхні. Зношування цих деталей супроводжується зменшенням їхніх розмірів, притупленням різальних крайок і зміною форми, що негативно впливає на агротехнічні показники роботи машин.

Відновлення деталей ґрунтообробних машин має низку переваг порівняно з їх повною заміною. Насамперед це зниження матеріальних витрат, скорочення



простоїв техніки та раціональне використання металу. Крім того, застосування сучасних відновлювальних технологій дозволяє не лише повернути деталі початкові геометричні параметри, а й підвищити їх зносостійкість у порівнянні з новими виробами.

Серед найбільш поширених методів відновлення працездатності деталей ґрунтообробних машин слід виділити наплавлення, термічне та хіміко-термічне оброблення, гальванічні покриття, а також використання зносостійких композиційних матеріалів. Наплавлення є одним із найефективніших способів відновлення, оскільки дозволяє компенсувати втрати металу та сформувати зносостійкий шар на робочих поверхнях. Залежно від умов роботи деталі застосовують різні наплавні матеріали, які забезпечують необхідну твердість, ударну в'язкість і опір абразивному зношуванню.

Важливим етапом відновлення є попередня підготовка деталей, що включає очищення, дефектацію та оцінку залишкового ресурсу. Правильний вибір технології відновлення залежить від характеру зношування, матеріалу деталі та умов її подальшої експлуатації. У ряді випадків доцільним є комбінування кількох методів, наприклад наплавлення з наступною термічною обробкою або механічним доведенням робочих поверхонь.

Значний вплив на ефективність відновлення має дотримання технологічних режимів. Порушення режимів нагріву, охолодження або нанесення відновлювального шару може призвести до появи тріщин, залишкових напружень і зниження міцності деталі. Тому технологічна дисципліна та контроль якості є обов'язковими умовами забезпечення надійної роботи відновлених деталей.

Сучасні тенденції у відновленні деталей ґрунтообробних машин пов'язані з упровадженням ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій. Використання автоматизованих наплавних установок, порошкових матеріалів і локального зміцнення робочих зон дозволяє зменшити витрати енергії та матеріалів, а також підвищити стабільність якості відновлення.

Отже, відновлення працездатності деталей ґрунтообробних машин є ефективним засобом підвищення довговічності та надійності сільськогосподарської техніки. Раціональний вибір технологій відновлення, дотримання технологічних режимів і використання сучасних матеріалів забезпечують зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості обробітку ґрунту та загальну ефективність аграрного виробництва.

### **Список використаних джерел**

1. Ружи́ло З.В., Мельник В.І., Новицький А.В., Ревенко Ю.І., Бистрий О.М., Мельник В.І., Попик П.С. Надійність машин та обладнання. Ремонт ування машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 313 с.

2. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskiy, I., Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), 47-57.

УДК: 339.13: 338.5: 631.1

## ТРАНСФОРМАЦІЯ РИНКУ ОВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

**Я. Ф. НАВРОЦЬКИЙ**, кандидат економічних наук, старший дослідник,  
провідний науковий співробітник відділу інвестиційного та матеріально-  
технічного забезпечення,

*Національний науковий центр “Інститут аграрної економіки”*

**В.М. ПЕТРОВ**, кандидат економічних наук, доцент,  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

**С.О. ЯРЕНКО**, аспірант,  
**М.А. КРАВЧЕНКО**, аспірант,

*Національний науковий центр “Інститут аграрної економіки”*

*E-mail: yarol.nav@gmail.com, vpetrov0741@gmail.com, presenta6020@gmail.com*

За даними Держстату, попри втрати територій та обмеження воєнного стану, українські аграрії у 2023 р. збільшили врожай овочів до майже 8,3 млн т (без урахування картоплі) – на 10% більше, ніж у попередньому році. Зростання забезпечено переважно розширенням посівних площ під тепличними та відкритими овочами в західних, північних і центральних регіонах. Зокрема, урожай томатів зріс на 33,9%, огірків – на 5,9%, моркви – на 12,8%. Урожай традиційних «борщових» культур (капуста, буряк, цибуля, морква, картопля) зберігся приблизно на довоєнному рівні з мінімальними коливаннями: валовий збір картоплі збільшився на 2%, цибулі – на 9,8% [1]. Стабілізація частково досягнута перенесенням посівів з окупованих південних областей до безпечніших східних і західних регіонів.

Надлишки овочевої продукції в окремих районах стримуються транспортними бар'єрами. Південні овочі, як-от баштанні культури, транспортуються на значні відстані, підвищуючи собівартість. Віддаленість ринків і пошкоджені дороги під час війни спричинили зростання логістичних витрат. Зокрема, за даними аграрних аналітиків, доставка 1 кг овочів з південних регіонів до Києва у 2022 р. подорожчала до 5 грн (раніше – 1–2 грн) [2]. Логістичний компонент може становити 15–20% роздрібної ціни окремих овочів.

Як показано в таблиці 1, ціни на основні овочі у 2022–2023 рр. зросли в кілька разів порівняно з 2021 р.: найбільше – морква (до 36,4 грн/кг) та цибуля

(до 39,7 грн/кг), меншою мірою – буряк (у 2022 р. – 19,8 грн/кг, у 2023 р. – 13,5 грн/кг) і картопля (11–12 грн/кг). Зростання транспортних витрат безпосередньо впливає на кінцеву ціну для споживача. Загалом, у структурі собівартості свіжих овочів логістика займає до чверті витрат, особливо в кризові періоди. Український овочевий ринок характеризується вираженою сезонністю: влітку пропозиція зростає через урожай, тоді як взимку внутрішні поставки мінімальні.

**Таблиця 1. Середні роздрібні ціни на овочі «борщового набору» в Україні (2021–2023), грн/кг**

| Культура        | Роки |      |      |
|-----------------|------|------|------|
|                 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Морква          | 9,91 | 22,6 | 36,4 |
| Буряк столовий  | 10,3 | 19,8 | 13,5 |
| Картопля        | 10,6 | 11,2 | 11,6 |
| Капуста         | 7,50 | 23,4 | 22,2 |
| Цибуля ріпчаста | 8,90 | 24,3 | 39,7 |

*Джерело: розраховано за даними [3].*

За даними ритейлерів, зимові продажі овочів у 5 разів менші за літні, а ціни – у кілька разів вищі. Холодостійкі овочі (капуста, морква, цибуля) зберігаються цілий рік, але їхня логістика обмежена. Взимку багато овочів (помідори, огірки, зелень) імпортується з Туреччини, Єгипту тощо, що підвищує вартість через транспорт і тарифи.

Сезонний дисбаланс ілюструється співвідношенням продажів і цін: літній індекс споживання та ціни умовно 100, зимовий – продажі на рівні 20, ціни в 3–5 разів вищі. Це вимагає гнучкої логістики, включаючи холододовий ланцюг та імпортозаміщення тепличним виробництвом. Завчасне планування закупівель з урахуванням циклічності зменшує цінові коливання.

Через втрату південних територій Україна у 2022–2023 рр. втратила 15% довоєнних площ під овочами, зокрема в Херсонській області – близько 40 тис. га (15% національного врожаю). Центральні та західні регіони компенсували це, забезпечивши 34% збору (табл. 2). Деякі культури, як ранні баштанні, залишилися дефіцитними: урожай кавунів і динь зменшився на 13% [1].

**Таблиця 2. Частка основних регіонів в українському овочевому виробництві**

| Регіон              | Частка загального врожаю, (%) |
|---------------------|-------------------------------|
| Херсонська область  | 15,0                          |
| Центральні області* | 34,2                          |
| Інші регіони        | 50,8                          |

*Джерело: розраховано за даними [4]*

\*Примітка: «Центральні області» – п'ять найбільших областей – виробників овочів (за даними Мінагрополітики).

Херсонські баштанні неможливо повністю замінити, що спричинило зростання цін. За оцінками Мінагрополітики, дефіцит ранніх овочів ліквідовано до кінця літа за рахунок інших регіонів, де попит покрито повністю [4].

Логістика овочів повинна враховувати географічні зрушення – переміщення з півдня до центру та заходу. Руйнування інфраструктури ускладнило експорт, змусивши перерозподілити ресурси. Зміна маршрутів підвищила час доставки та витрати.

Структура транспортних витрат включає пальне, оплату праці, амортизацію, дорожні збори та зберігання. У воєнний період вони зросли в 2–3 рази, зокрема доставка контейнерів з-за кордону – на 20–30%. Як показано в табл. 3, витрати на маршруті «Південь–Київ» зросли в 3–5 разів, підвищивши ціни на 10–15%. Зростає імпорт зимових овочів, посилюючи конкуренцію.

**Таблиця 3. Зміни витрат на доставку овочевої продукції (приклад на маршруті «Південь України–Київ»)**

| Період                   | Витрати, грн/кг |
|--------------------------|-----------------|
| До повномасштабної війни | 1–2             |
| Під час війни            | ≈5              |

*Джерело: розраховано за даними [5].*

Для зниження ризиків виробники впроваджують локальну дистрибуцію: регіональні кластери, прямі поставки, кооперативи. Державна підтримка включає альтернативні маршрути, пільгове пальне, інвестиції в інфраструктуру та ІТ-системи моніторингу.

Для подальшої стабілізації логістики овочів необхідно: розвивати міжрегіональні агрокластерні центри з перевалкою та зберіганням продукції, підтримувати кооперативні механізми та децентралізовані ринки збуту; стимулювати переробку надлишків у консервацію та заморожування для зберігання в кризових ситуаціях; проводити постійний аналіз ринку овочів (моніторинг цін, обсягів виробництва, внутрішнього та зовнішнього попиту) для прийняття оперативних управлінських рішень. Зважаючи на великий потенціал харчової безпеки України, сучасна логістика овочів повинна стати одним із пріоритетів аграрної політики держави, адже стабільне постачання свіжих овочів є надзвичайно важливим для здоров'я населення та економічної стабільності в умовах війни.

### Список використаних джерел

1. Підсумки року. В Україні урожай овочів зріс на 10%. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bizagro.com.ua/pidsumky-roku-v-ukrayini-urozhaj-ovochiv-zris-na-10/>
2. Кузьменко Г.О., Телендій А.А. Вплив війни на аграрний сектор України: виклики та роль державного управління у відновленні галузі. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Публічне управління та адміністрування*. 2024. №5(74). С.22–29 DOI: <https://doi.org/10.32782/TNU-2663-6468/2024.5/04>

3. Семенда О.В., Корман І.І. Аналіз українського ринку овочів в умовах війни. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2024. Т.3, №1. С.72-80. DOI: 10.46299/j.isjmef.20240301.07

4. Названо регіони, які забезпечать українців овочами та фруктами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agronews.ua/news/nazvano-regiony-yaki-zabezpechat-ukrayincziv-ovochamy-ta-fruktamy/>

5. Логістика «з'їдає» 5 грн ціни 1 кілограму овочів і фруктів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/logistyka-zyidaye-5-grn-cziny-1-kilogramu-ovochiv-i-fruktiv/>

УДК 631.1.004

## БЕЗВІДМОВНІСТЬ РОБОТИ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ЯК КЛЮЧОВИЙ ЧИННИК ЕФЕКТИВНОСТІ ПОСІВНОЇ КАМПАНІЇ

Є. В. ТРОЯН, студент  
К.В. ТАРУШКО, студентка  
П. С. ПОПИК, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Сучасний посівний комплекс є складною машино-тракторною системою, що поєднує в собі енергетичний засіб, ґрунтообробні, висівні, транспортні та керувальні підсистеми. Його ефективність у значній мірі визначається безвідмовністю роботи, тобто здатністю виконувати задані функції без відмов у встановленому інтервалі часу та в конкретних умовах експлуатації. У період посівної кампанії, коли строки виконання робіт є жорстко обмеженими агротехнічними вимогами, будь-яка відмова призводить до простоїв, зниження продуктивності, порушення якості висіву та, як наслідок, до втрат урожаю.

Безвідмовність посівного комплексу формується на етапах проектування, виготовлення, підготовки до роботи та експлуатації. Конструктивна надійність визначається раціональним вибором матеріалів, схем навантаження, запасів міцності та зносостійкості основних вузлів. До найбільш відповідальних елементів, від яких залежить безвідмовна робота, належать висівні апарати, системи дозування насіння і добрив, приводи робочих органів, гідравлічна система, електронні засоби контролю та керування. Відмова будь-якого з цих елементів може призвести до порушення норми висіву, нерівномірності загортання насіння або повної зупинки агрегату.

Суттєвий вплив на безвідмовність має якість технічного обслуговування. Регламентні огляди, своєчасне змащування, заміна зношених деталей, контроль герметичності гідросистеми та справності датчиків дозволяють попередити раптові відмови. Особливо важливою є передпосівна підготовка, яка включає



перевірку налаштувань висівних апаратів, калібрування систем подачі насіння, перевірку електронних блоків і програмного забезпечення. Практика показує, що більшість відмов у період інтенсивної експлуатації пов'язані не з конструктивними дефектами, а з недостатньою підготовкою машини до роботи.

Важливу роль відіграють умови експлуатації. Робота на перезволожених або надмірно ущільнених ґрунтах, використання неякісного насіннєвого матеріалу, перевищення рекомендованих швидкісних режимів підвищують навантаження на робочі органи та приводи, що знижує безвідмовність. Дотримання агротехнічних вимог і рекомендацій виробника є необхідною умовою стабільної роботи посівного комплексу.

Сучасні тенденції розвитку посівної техніки пов'язані з упровадженням систем моніторингу та діагностики. Використання датчиків контролю обертів, тиску, витрати матеріалів і систем дистанційного сповіщення дозволяє виявляти передвідмовні стани та оперативно реагувати на них. Це сприяє переходу від ремонту «за фактом відмови» до профілактичного обслуговування, що суттєво підвищує рівень безвідмовності та загальну ефективність використання техніки.

Отже, безвідмовність роботи посівного комплексу є комплексним показником, що залежить від конструктивних рішень, якості виготовлення, рівня технічного обслуговування та умов експлуатації. Забезпечення високої безвідмовності дозволяє зменшити простої, підвищити продуктивність посівних робіт, дотриматися оптимальних строків сівби та створити передумови для отримання стабільних і високих урожаїв. Саме тому питання безвідмовності повинні розглядатися як один із пріоритетних напрямів удосконалення сучасних посівних комплексів.

### **Список використаних джерел**

1. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery & Energetics*, 12 (2), 39-47.
2. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, vol. 5, no. 1 (95). pp. 46-53.
3. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Shvidia V.O., Stepanenko S.P. Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH: Agricultural Engineering*, 2019, vol. 57, pp. 141-146, Bucharest, Romania.
4. Попик П.С. Синергетика інтерактивних індикаторів ресурсоефективності точності висіву основних технічних культур апаратом з дозатором спрямованої дії. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 2, 133-140.

УДК 631.362.3

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ БАКЛАЖАНІВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПЛАНЕТАРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПЛОДІВ

**П. М. ПОЛЯНСЬКИЙ**, канд. екон. наук, доцент,

**Г. О. ІВАНОВ**, канд. техн. наук, доцент,

**А. Ю. НОЖЕНКО**, здобувач вищої освіти.

**О. О. МАРИКІН**, здобувач вищої освіти.

*Миколаївський національний аграрний університет,*

*E-mail: polyanskypm@mnaue.edu.ua, ivanovgo@mnaue.edu.ua*

Південь України з агротехнологічної точки зору має задовільні умови для вирощування овоче-баштанної продукції. Для забезпечення розвитку цієї галузі потрібно щоб була достатня кількість насіннєвого матеріалу такого наприклад як насіння баклажану. Наразі близько 80-90% насіння, яке використовують великі фермерські господарства (особливо для закритого ґрунту та інтенсивних технологій), походить з-за кордону, із таких країн-постачальників як: Нідерланди, Франція, Японія, Туреччина та Ізраїль. Промислове виробництво насіння в Україні зараз переживає кризу, особливо після втрати частини виробничих потужностей та насіннєвих заводів на Півдні.

Тому питання отримання насіння залишається відкритим, що зумовлює необхідність створення або удосконалення обладнання для його виробництва. Якісний насіннєвий матеріал – це одна з умов, що дозволить підвищити врожайність та знизити собівартість вирощуваної продукції.

Насінник баклажана є досить складним за своєю будовою, тому процес виділення потребує індивідуального підходу і використання відмінної технології, яка буде враховувати його фізико-технологічні властивості та біологічні особливості будови плоду.

Аналіз літературних джерел виявив планетарні машини з ножами та бичами для подрібнення насінників баклажанів з одночасним виділення насіння з насінників баклажанів. Їх використання дозволяє забезпечити виділення насіння баклажанів з частковою сепарацією (видалення крупних домішків), зменшує забивання отворів решіт, підвищує чистоту насіння, збільшує продуктивність машини, проте призводить до часткового пошкодження.

Для зменшення травмування авторами пропонується:

- замінити металеві ножі на еластичні накладки, які б деформували плід, вичавлюючи насіння з гнізд, але не мали б достатньої твердості, щоб розколоти саму насініну. Такий підхід значно тихіший і безпечніший для самої конструкції машини.

- замінити леза на циліндричні штифти із сферичними кінцівками, вони будуть пронизувати плід і розривають його на частини, ризик пошкодити

насіння зводиться майже до нуля.

- комбінувати: для першої половини сепаратора кілька тупих металевих бичів для грубого розлому цілого баклажана та поліуретанові лопаті, які в поєднанні з планетарним рухом та водою (форсунками) буквально «вичищатимуть» насіння з пульпи.

Запропоноване технічне рішення щодо модернізації планетарної установки дозволяє перейти від принципу «різання» до принципу «делікатного вичавлювання» насіння з м'якоті плоду та дозволить знизити рівень пошкодження насіння (попередньо до 1–3%) та забезпечити агрогосподарства якісним посівним матеріалом власного виробництва, що має стратегічне значення для агропромислового комплексу України.

### **Список використаних джерел**

1. Демченко І.В., Бойко Л.М. Оптимальні умови зберігання насіння баклажанів для збереження схожості. Наукові праці Інституту овочівництва і баштанництва НААН України. 2021. Вип. 34. С. 89–95.
2. Кравченко В.М. Сучасні технології виділення та обробки насіння баклажанів у великих агрогосподарствах. Аграрний вісник Сходу. 2018. №4. С. 33–40.
3. Сидоренко П.О. Очищення та калібрування насіння овочевих культур у промислових умовах // Технології агровиробництва. 2022. №5. С. 112–118.
4. Полянський П.М., Г.О. Іванов, Огляд автоматизованих ліній для виділення насіння баклажанів. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей Х Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 184–186.
5. Патент 69460 Україна, МПК (2012.01) A23N 4/00. Лінія для виявлення насіння томатів та баклажанів / К. М. Думенко, К. С. Шевченко, Є. Ю. Безуглий; власник Думенко К. М. - № u 2011 13284; дата подання заявки 11.11.2011: опубліковано 25.04.2012, Бюл. № 8.

**УДК 631.358:62**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРА ВАЛА ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТРАКТОРІВ ХТЗ**

**Д. С. СОКОЛ**, студент магістратури  
**В. А. СИВОЛАПОВ**, старший викладач

Редуктор ВВП — одноступінчастий, з шестернями постійного зачеплення і гідропідтискною муфтою блокування веденої шестірні з вихідним валом. Автоматичне дискове гальмо редуктора гальмує вихідний вал при виключенні

ВВП, автономна гідросистема забезпечує плавне включення ВВП і надійне мащення деталей редуктора. Корпус редуктора і закріплений до нього знизу піддон відлиті з алюмінієвого сплаву.

Можливі несправності ВВП, способи виявлення та усунення.

Вал відбору потужності (ВВП) - один з найскладніших і найменш захищених вузлів трактора. При цьому потужність, що передається через ВВП, часто порівнянна з потужністю, що передається через коробку передач. Конструктивно ці вузли подібні, але умови експлуатації різні. Так коробка передач має обсяг масла до сорока літрів, а редуктор ВВП тільки чотири. Крім того коробка передач має фільтр тонкої очистки масла, систему охолодження і манометр, а ВВП цих вузлів не має.

Влітку, при високій температурі навколишнього повітря і високих навантаженнях, редуктор ВОМ перегрівається. Малий обсяг масла і відсутність охолодження призводить іноді до підвищення температури масла і всього ВВП до 160 ° С. А найменше попадання абразивних частинок в гідравлічну систему призводять до виходу редуктора з ладу.

Але руйнування корпусу ВВП цілком на совісті експлуатаційників. При агрегуванні трактора з сільхозмашинами, які вимагають привід від ВВП, необхідно від'єднувати розтяжки навісної системи. Інакше, при поворотах, карданний вал причіпний машини буде впирається в розтяжки, гнути вал ВВП або зривати корпус з кріплень.

Карданний вал причіпний машини повинен легко пересуватися в телескопічному з'єднанні і мати достатній вільний хід. При недостатньому вільному ході при переїзді нерівностей, особливо типу "кювету" вся маса причіпної машини буде зосереджуватися на корпусі ВВП і зривати його з кріплень або руйнувати його.

Включати ВВП під навантаженням при механічному управлінні необхідно плавно. Плавність включення гідропіджимної муфти ВВП залежить від швидкості переміщення важеля управління. При включенні важіль переміщається знизу - вгору - назад, при виключенні - навпаки.

При експлуатації механічного приводу управління ВВП в результаті витягування троса і зносів шарнірів може бути порушено регулювання дистанційного керування. Якщо система відрегульована правильно, то при фіксуванні засувкою важеля в верхньому положенні важіль повинен бути притягнутий вперед до упору в гвинт. Регулювання здійснюється різьбовою вилкою.

Технічний стан редуктора ВВП можна оцінити методом діагностування.

Перевірка подачі насоса гідросистеми ВВП і витоку масла в ній.

Підключити прилад КИ-6285-ГОСНИТИ до гідросистеми, для чого:

виверніть пустотілі болти нагнітального трубопроводу насоса і встановіть на їх місце перехідні штуцери 1 і 2 (рис. 7.8);

виверніть з корпусу редуктора ВВП пробку-сапун і приєднайте перехідний штуцер 8;

приєднайте нагнітальні шланги 3, 5 і 7 відповідно до штуцерів 8, 2 і 1;  
встановіть рукоятку 6 - в положення "1", пустіть двигун, включите ВВП і  
прогрійте масло в гідросистемі до 313 - 323 К (40 - 50 ° С);

Визначте подачу насоса. Для цього встановіть номінальну частоту  
обертання колінчастого вала 2100 хв "1 і визначте за показаннями приладу тиск  
масла і подачу насоса.

Якщо подача насоса нижче 9,9 л / хв, насос підлягає ремонту.

Перевірте витрату масла. Для цього перекажіть рукоятку 6 приладу в  
положення "3", а рукоятку 4 - залиште в положенні "ВВП". Закрутіть до  
відмови регулювальний гвинт перепускного клапана, помітивши його  
початкове положення, і при номінальній частоті обертання визначте витрату  
масла. Встановіть регулювальний гвинт перепускного клапана в початкове  
положення. Якщо витрата масла виявиться менше 6,9 л / хв при подачі насоса  
не нижче 9,9 л / хв, агрегати гідросистеми підлягають ремонту. Перевірка стану  
клапанів гідросистеми ВВП.

Перевірте клапан плавного включення. Для цього загорніть до відмови  
регулювальний гвинт перепускного клапана. Переведіть рукоятку 4 положення  
"О" (рукоятку 6 залиште в положенні "3") і за показами манометра приладу  
визначте тиск спрацювання клапана плавного включення.

Номінальний тиск спрацювання клапана дорівнює 1,2 - 1,3 МПа. Якщо  
тиск виявиться нижче 1,1 МПа, клапан слід відрегулювати за допомогою  
регулювального гвинта 10.

Перевірте перепускний клапан. Для цього, не змінюючи положення  
рукоятки приладу, при номінальній частоті обертання виверніть регулювальний  
гвинт перепускного клапана 9 до досягнення тиску 0,95 - 1,0 МПа (9,5 - 10,0 кгс  
/ см<sup>2</sup>).

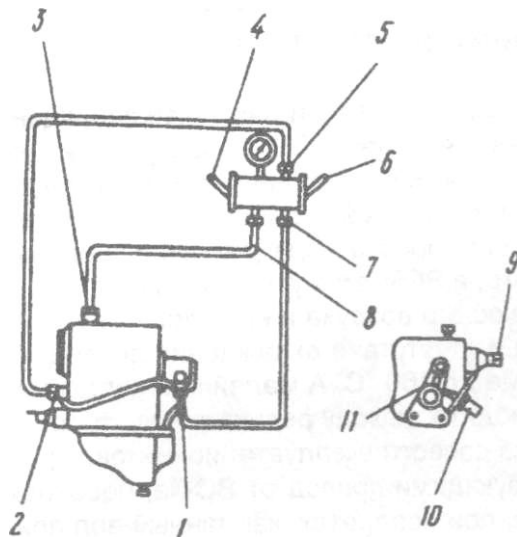


Рис. 1. Схема підключення приладу KI-6285-ГОСНИТИ до гідросистеми  
ВВП: 1, 2, 8 - штуцери перехідні; 3 - шланг зливний; 4 - рукоятка приладу ліва;  
5 - шланг нагнітальний "H2"; 6 - рукоятка приладу права; 7 - шланг  
нагнітальний; 9, 10 - гвинти регулювальні; 11 - важіль включення муфти ВВП.



Основні дефекти корпусу редуктора ВВП — тріщини, зломи, пошкодження різьби, неплотинність привалкових поверхонь, спрацювання поверхонь. Неплотинність привалкових поверхонь допускається не більше як 0,1 мм.

Корпус редуктора ВВП вибраковуюють при наявності тріщин, які виходять на посадочні поверхні, зломів і пробоїн. Спрацьовані поверхні під кришки і стакани підшипників відновлюють місцевим насталюванням або розточуванням і встановленням сталених кілець. В разі жолоблення привалкових площин їх шліфують.

Тріщини, які не виходять на посадочні поверхні, заварюють. Кромки тріщин зачищають щіткою із нержавіючого дроту діаметром 0,15 мм і знежирюють. Безпосередньо перед зварюванням кромки тріщини травлять у 10%-йому розчині їдкого натрію або їдкого калію при температурі 50...70° С, освітлюють в 10%-ному розчині азотної кислоти при 18...20° С, після чого промивають гарячою водою і сушать. Після травлення і освітлювання кромки тріщини повинні мати срібисто-матову поверхню без нальоту та бруду.

Корпус редуктора ВВП нагрівають до температури 240...250° С протягом 1 години і заварюють тріщини аргонно-дуговим зварюванням неплавким вольфрамовим електродом діаметром 5 мм з присадковим прутком діаметром 4 мм із сплаву АЛ11. Зварний шов повинен бути рівним, щільним, без тріщин, пористості, непроварених місць і напливів. Після зачищення зварного шва його перевіряють на герметичність за допомогою гасу. При цьому на поверхні шва, обробленій крейдою, протягом 5 хв не повинні появлятися плями гасу.

Основними дефектами ведучого і веденого валів є спрацювання поверхонь під шарикоідшипники, сальники і кільця гідророзподільника, шліців та шліцьових пазів, пошкодження різьби, деформація, органічні і мінеральні відклади в каналах.

Пошкоджену різьбу валів наплавляють віброконтактним способом, обточують до нормальних розмірів, свердлять отвори, фрезерують лиски і нарізають нову різьбу.

Спрацьовані шліци наплавляють у середовищі вуглекислого газу, вал обточують, фрезерують шліци, гартують їх за допомогою струму високої частоти і шліфують вал до нормального діаметра.

### **Список використаних джерел**

1. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 С.
2. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружи́ло З.В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіП, 2017. 212 с.

УДК 621.432.3

## ВІДНОВЛЕННЯ БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗВАРЮВАННЯМ

**Я. А. КУЗЬМЕНКО**, студент магістратури

**В. А. СИВОЛАПОВ**, старший викладач

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Основні дефекти блоків циліндрів, що підлягають усуненню під час капітального ремонту, та приблизний процент повторюваності слідуючі: зношування, неспіввісність, пошкодження постелей корінних підшипників – 40...60 %; кавітаційні раковини на нижньому посадковому пояску під гільзу циліндра, зминання, деформація пояска - 30...50%; різниця в розмірах гнізда під бурт гільзи, циліндра глибиною більше 0,05 мм – 30...40%; пошкодження різьбових отворів, облом шпильок - 30...40%; тріщини, пробоїни на блоці – 15...25%.

Більшість блоків циліндрів виготовлено з сірого чавуну СЧ18-36.

Особливості відновлення зварюванням чавунних деталей обумовлені труднощами створення пластичного і щільного металу шва і навколошовної зони внаслідок високого вмісту в чавуні вуглецю, схильності його до відбілювання через різкий перехід при нагріванні з твердого, стану в рідкий, малої пластичності і низької ударної в'язкості, незворотного об'ємного стану під впливом високих температур, нерівномірності усадки металу при кристалізації зварювальної ванни і т.д.

Усунення дефектів (зносів, тріщин, обломів) у чавунних деталях (на прикладі блоків і головок циліндрів) може здійснюватися «гарячим» і «холодним» зварюванням. «Гаряче» зварювання застосовують виконують як ацетилено-кисневе при нагріванні деталі до 650...680°C. Як присадковий матеріал використовують чавунні прутки марки А (3,0...3,6 % С; 3,0...3,5 % Si; 0,3 % Mn ; 0,6 % Cr; 0,3 % Ni ; 0,08% S; 0,3...0,5% P) і спеціальний флюс ФСЧ-1 (23% Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; 27% NaCO<sub>3</sub>, 50% NaNO<sub>3</sub>). Охолодження деталі в процесі зварювання нижче 500° С не допускається. Після зварювання необхідні низькотемпературний відпал з нагріванням деталі до 650...670°C і охолодження її разом з піччю.

Таким чином деталь нормалізується, знімаються внутрішні напруження.

Основні недоліки способу гарячого зварювання блоків циліндрів - велика трудомісткість і важкі умови праці зварювальника.

До прогресивних методів «холодного» зварювання чавуну відносять такі:

- напівавтоматичне газоелектричне зварювання спеціальним дротом ПАНЧ-11;

- напівавтоматичне газоелектричне зварювання дротом МНЖКТ-5-1-02-02 марки А Ø1,0... 1,2 мм в середовищі аргону виконують при постійному

струмі 80...120 А зворотної полярності, напрузі 20...25 В, швидкості подачі дроту 7...11 м/хв, витраті аргону 6...9 л/хв. Рекомендуються проковування шва. Для зварювання дротом ПАНЧ-11 і МНЖКТ використовуються сучасні напівавтомати. Найкращі результати забезпечуються при зварюванні на установках типу УДГ-301 і використання зазначених дротів у вигляді присадочного матеріалу;

- зварювання електродами МНЧ-1, виготовленими з монель-металу (63% Ni + 37% Cu) зі спеціальним фтористо-кальцієвим покриттям типу УОНІ-13/55, виконують електродами  $\varnothing 3...4$  мм при постійному струмі 140 ...150 А зворотної полярності, короткою дугою, невеликими ділянками довжиною 20...30 мм, які відразу ж проковують. Метал шва є в'язкий залізо-нікеле-мідний сплав. Нікель необмежено розчиняється в залізі, а нікелевий аустеніт, що утворюється, розчиняє велику кількість вуглецю без утворення карбідів і забезпечує високу пластичність, низьку твердість і хорошу оброблюваність шва;

- зварювання електродами ЦЧ-4  $\varnothing 3...4$  мм зі сталі Св-08 або Св-08А з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить титан або ванадій, ведуть при постійному струмі 120...130 А зворотної полярності та напрузі дуги 20 В.

Після накладання валика рекомендується його проковування. Сприятливо дається взнаки підігрів деталі до 150...200°C. Ванадій пов'язує вуглець у важкорозчинні дрібнодисперсні карбіди. Недолік електродів ЦЧ-4 - можливість виникнення тріщин у середині шва;

- зварювання електродами ЦЧ-3А (Св-08Н50) з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить до 5,25% кремнію (рекомендується для деталей з модифікованого чавуну);

- при зварюванні електродами ОЗЧ-1 з мідного електродного дроту з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить залізний порошок, метал шва являє собою залізо-мідний шар (89% Fe + 11% Cu) з високою пластичністю, щільністю і міцністю, але поганою оброблюваністю. Процес зварювання рекомендується вести при струмі 150 А зворотної полярності і напрузі 20 В, короткою дугою, невеликими ділянками довжиною 30...60 мм.

Кожну ділянку шва слід проковувати і продовжувати зварювання лише після охолодження шва до 50...60°C. Щільність з'єднання може бути підвищена за рахунок застосування електрода ОЗЧ-1 у поєднанні з електродами МНЧ-1, якими наплавляють останній шар. Так як зона підвищеної твердості створюється по межі сплавлення, для поліпшення оброблюваності шва перші шари рекомендується наплавляти також електродами МНЧ-1;

- напівавтоматичне зварювання тонким електродним дротом Св-08Г2С  $\varnothing 1,0...1,2$  мм в середовищі вуглекислого газу проводять на такому режимі: сила струму 80...100 А зворотної полярності, напруга 20...22 В, витрата газу 6...9 л/хв.

Особливості відновлення деталей зі сплавів алюмінію обумовлені такими причинами:

- утворенням тугоплавких оксидів  $Al_2O_3$  з температурою плавлення  $2050^{\circ}C$  (у той час як температура плавлення сплавів алюмінію АЛ-5 і АЛ-9 відповідно  $535$  і  $550^{\circ}C$ ) і тонкої плівки оксидів ( $0,002$  мм), що перешкоджає з'єднанню основного та наплавлюваного матеріалів, а також забруднюючої зварювальний шов окислами;
- великою теплопровідністю та високим коефіцієнтом лінійного розширення, що сприяє виникненню тріщин;
- інтенсивним поглинанням газів розплавленим металом;
- великою текучістю сплавів алюмінію при їх плавленні та труднощами визначення початку їх плавлення (при нагріванні не змінюють колір);
- низькою міцністю алюмінію та його сплавів при нагріванні до  $400...500^{\circ}C$ .

Як основні способи зварювання деталей зі сплавів алюмінію рекомендуються: зварювання на змінному струмі вольфрамовим електродом, що не плавиться, в середовищі аргону на установках типу УДАР або УДГ (найефективніший спосіб), а також електродугове зварювання спеціальними електродами ОЗА-2 для зварювання ливарних сплавів і ОЗА-1 для зварювання технічного алюмінію.

У всіх випадках для підвищення якості зварювання деталей, виготовлених із алюмінієвих сплавів, рекомендується: ретельне зачищення зварюваних поверхонь; обробка кромки та знежирення їх ацетоном; попередній підігрів відновлюваних деталей до температури  $250...300^{\circ}C$  для запобігання короблення деталей через нагрівання при зварюванні, виникнення тріщин і забезпечення більш спокійної кристалізації рідкого металу; наступний низькотемпературний відпал при температурі  $300...350^{\circ}C$  зняття внутрішніх напруг і поліпшенням структури зварювального шва.

Присадочний матеріал повинен бути однорідним зі зварюваним і може бути отриманий в результаті переплавлення відповідних вибракованих деталей, виготовлених із алюмінієвих сплавів з вмістом кремнію  $5...6\%$ .

### **Список використаних джерел**

1. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.
2. Ремонт дизельних двигунів. Довідник /Л.С. Єрмолов, О.А. Науменко, О.І. Сідашенко, І.Г. Шержуков; За ред. Л.С. Єрмолова. - К.: Урожай, 1991. – 248 с.

УДК 631.31

## ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

**І. Г. ГРАБАР**, д.т.н., проф.,  
**С. В. МІНЕНКО**, к.т.н., доц.,  
**Б. П. БИСТРИЦЬКИЙ**, здоб.,  
**Р. П. МЕЛЬНИК**, здоб.,  
**А. А. КУЗНЄЦОВ**, здоб.,

*Поліський національний університет, м. Житомир*

Робочі органи ґрунтообробних машин при експлуатації зазнають комплексних впливів абразивних часток ґрунту, атмосферних чинників та навантажень, що призводить до інтенсивного зношування їх поверхонь. Так, дослідження показують, що абразивне зношування є найбільш поширеною формою зносу ґрунтообробних інструментів. [1-4]. Підвищена абразивність ґрунту, збільшення вологості (особливо пісків) та високі робочі швидкості спричиняють збільшення інтенсивності втрати матеріалу. Водночас робота дискових і лапових робочих органів може супроводжуватися також контактним втомним і корозійним зношуванням (наприклад, у зоні фрикційного контакту під час міжсезонного зберігання відбувається корозія, що збільшує наступний абразивний знос на 9–10%). Важливим науковим досягненням є роботи вітчизняних вчених Борака К.В. [1] та Ауліна В.В. [4] де описані в повній мірі описано механізми абразивного зношування поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин та викладені основи підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин спричиняється комбінацією абразивних, корозійних, контактно-втомних і адгезійних процесів. Основними є абразивне зношування – механічна дія твердих зерен ґрунту (різання, мікрооранка, зминання), а також корозія, що послаблює поверхню і прискорює процеси зношування. Характер пошкоджень визначають мікроструктура металу, твердість, напруження та умови.

Абразивне зношування реалізується в декілька підмеханізмів:

- мікрорізання (ґрунтові зерна дряпають поверхню, утворюючи поздовжні борозни або «шрами»);
- мікрооранка (зерно заглиблюється в поверхню металу, утворюючи окремі заглибини);
- крихке відколювання частинок (на мікрорівні можлива розрихленість металу). Внаслідок цієї дії на поверхні з'являються паралельні борозни і грубі мікрорельєфи.

Корозійне зношування – це хімічно-активне роз'їдання металу та окиснення під дією агресивного середовища. У ґрунті це можуть бути вода,



кислоти (наприклад, від добрив), сульфідів. Корозія формує тонкі оксидні плівки та мікротріщини; при паралельному абразивному впливі такі зони швидко відшаровуються. Утрата твердості поверхневого шару (низькокутна блондінація) призводить до збільшення швидкості абразивного зносу. Типові морфології – нерівномірна ерозія, групи дрібних ямок (мікротопографія) та краплинне огрудування (локальний виток корозійного окису).

Контактно-втомне зношування виникає при циклічних навантаженнях поверхні (віброзанурення, численні контакти з твердим ґрунтом або твердими включеннями). На мікрорівні це проявляється у вигляді мікротріщин, що з часом розвиваються в зворотні (втомні) тріщини під поверхнею і зрештою призводять до відшарування зношених пластин. Макроефектом стають крупні тріщини і фрагментне лущення (флейки) із ділянок металу.

Зношування робочих органів ґрунтообробних машин є мультифакторним процесом. Абразивне різання і мікрооранка визначають основний характер поверхневих ушкоджень (паралельні борозни, груба шорсткість). У поєднанні з корозією (наприклад, після зберігання у вологому середовищі) це дає складну морфологію (дрібні ямки та окалину). Втомні навантаження призводять до появи мікротріщин і флейків.

#### **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 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
3. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
4. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: дис. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 / Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, 2014. – 447 с.

УДК 614.82

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

**О. В. ВОЙНАЛОВИЧ**, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

**Г. Г. ПИСАРЕНКО**, д.т.н., проф.,

**А. М. МАЙЛО**, к.т.н., **А. В. БЯЛОНОВИЧ**, к.т.н.

*Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України*

*E-mail: voynalovich@nubip.edu.ua, georgiy.pysarenko@gmail.com*

До актуальних задач сільськогосподарського машинобудування та використання мобільної техніки за складних умов експлуатації належить проблема підвищення надійності (довговічності) деталей і металоконструкцій [1]. Особливе місце займає прогнозування ресурсу машин на стадії їх експлуатації. Складність встановлення критеріїв оцінювання довговічності та прогнозування ресурсу роботи полягає насамперед у багатофункціональності складових елементів машини та особливостях їх взаємодії [2].

Дослідження кінетики експлуатаційного пошкодження матеріалів та елементів конструкцій є важливими для розроблення методів підвищення надійності техніки, прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкцій, встановлення ризику настання аварійних ситуацій [3]. Для виконання таких досліджень необхідно розробляти засоби і методи визначення параметрів пошкодження у лабораторних зразках та елементах конструкцій, де було б враховано вплив експлуатаційних чинників.

Щоб контролювати пошкодженість конструкційного матеріалу, потрібно відстежувати кінетику пошкодження на різних структурних рівнях, якщо можна забезпечити застосуванням структурно-чутливих методів дослідження [4]. Однак нині не погоджено єдиної прийнятої концепції щодо аналізу закономірностей формування та накопичення пошкодження у зразках металоконструкцій, що ускладнює вибір критеріїв для оцінювання граничного накопичення пошкодження та інтенсивності такого накопичення [5].

Останнім часом застосовують міждисциплінарний підхід, що дозволяє описати кінетику пошкодження конструкційного матеріалу з позицій механіки та з врахуванням фізичних аспектів пошкодження матеріалу на різних масштабних рівнях [6]. Розвиваються нові підходи для дослідження деформаційного рельєфу, створеного під час циклічного навантажування, що дозволяють комплексно досліджувати деформаційну поведінку конструкційних матеріалів.

Під час виконання пошукових науково-дослідних робіт Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України разом з Національним університетом біоресурсів і природокористування України було розроблено

апаратний комплекс автоматизованого контролю визначення закономірностей накопичення експлуатаційного пошкодження на базі портативного магнітодинамічного компаратора, що дозволяє визначати спектральний склад просторових частот процесу накопичення експлуатаційних тріщин у відповідальних деталях вузлів тракторів [1].

У цій роботі представлено методологію оцінення залишкового ресурсу тракторів чи їх окремих компонентів після тривалої експлуатації на основі даних дефектоскопічного контролю. Ця методологія базується на підходах методу аналізу кінетики пошкодженості металевих конструкцій, які зазнавали нерегулярного механічного навантажування, враховуючи, що еволюція фрактальної розмірності корелює з просторовою частотою спектру мікропластичних дефектів на межі циклічної плинності, а граничне значення фрактальної розмірності не залежить від параметрів механічного навантажування. Встановлено, що кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних мікротріщин у масиві відповідальних деталей тракторів характеризується максимумом у діапазоні 0,6-0,7 відносної тривалості експлуатації тракторів, що відповідає діапазону 11-13 років. Цей показник рекомендовано вважати нормативним критерієм безпечної експлуатації тракторів.

### Список використаних джерел

1. Войналович О.В., Писаренко Г.Г., Майло А.М. та ін. Методи дослідження закономірностей накопичення експлуатаційного пошкодження металоконструкцій за тривалої експлуатації та оцінення ресурсу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2019. 116 с.
2. Georgy Pysarenko, Oleksandr Voynalovich, Andriy Mailo, Stepan Pysarenko. A methodical approach to determining the damage characteristics of cyclically loaded samples of metal structures. *Machinery & Energetics*. 2022. Vol. 13, No. 4. pp. 28-37.
3. Писаренко Г.Г., Поліщук В.М., Войналович О.В., Майло А.М., Бялонович А.В. Методологічні засади сучасних підходів до оцінення опору втомі конструкційних матеріалів за дискретної природи втомного навантажування: монографія. Київ: НУБіП України, 2025. 122 с.
4. Pysarenko G., Voynalovich O., Maylo A., Pysarenko S. Deformation defects of the structural material as a factor of life aging. *Procedia Structural Integrity. 1st Virtual International Conference "In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction"*. 2022. Vol. 36. pp. 30-35.
5. Писаренко Г.Г., Бялонович А.В., Матохнюк Л.Є., Войналович О.В., Лиманський І.В., Гопкало О.Є., Майло А.М. Кореляційні характеристики деформаційного рельєфу алюмінієвого сплаву за багатоциклової втоми. *Проблеми міцності*, 2024. № 1. С. 1-10.
6. Писаренко Г.Г., Войналович О.В., Бялонович А.В., Майло А.М., Лиманський І.В. Характеристика пошкодженості конструкційної сталі за

багатоциклової втоми на межі непружного деформування. *Проблеми міцності*, 2024. № 6. С. 11-20.

УДК 631.3:620.178.16:620.193

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

**К. В. БОРАК**, д.т.н., проф.,  
**О. А. ШЕВЧУК**, викл., **А. О. ФЕДОРЧУК** викл.  
*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*  
**А.В. КОПЛИЧ**, здоб., **А. Й. СЛОВІНСЬКИЙ**, здоб.,  
**Б.Ю. ЮРЧЕНКО**, здоб.  
*Поліський національний університет, м. Житомир*  
*E-mail: koss1983@meta.ua*

Знос робочих органів ґрунтообробних машин є однією з ключових причин зниження агротехнічної якості операцій, зростання тягового опору та витрат пального, а також збільшення простоїв через заміну деталей. У довготривалих виробничих циклах саме деградація геометрії (заокруглення леза, втрата розмірів, асиметрія робочої поверхні) часто визначає фактичний «кінець ресурсу» деталі навіть до появи явних руйнувань [1-2].

Проблема має не лише трибологічний, а й економіко-технологічний вимір: заміна лемешів чи інших ґрунторізальних елементів потребує часу й затрат праці і може порушувати агротехнологічні строки. У сучасних дослідженнях на прикладі дискових робочих органів та лемешів прямо підкреслюється зв'язок недостатньої зносостійкості з падінням продуктивності механізованого землеробства і потенційними втратами врожайності через погіршення якості обробітку [3].

Робочі органи ґрунтообробних машин (soil-engaging tools) формують контактну поверхню «метал – ґрунт» і виконують фізичне руйнування, різання, перемішування, подрібнення, підрізання рослинних решток і формування структури посівного ложа. У сучасних оглядах ґрунторізальних елементів найчастіше виділяють такі групи: лемеші та долота плугів (mouldboard ploughshares, points), диски дискових борін/плугів і диски сошників, стояки/зуби глибокорозпушувачів і риперів, лапи культиваторів (стрілчасті, долотоподібні, плоскорізальні), ножі фрез/роторних культиваторів (L-, C-подібні) тощо [1-4].

Функціонально ці елементи можна звести до чотирьох базових режимів взаємодії:

1. Різання та відокремлення пласта (леміш, долото, ніж, край диска): формування поверхні зрізу та ініціація руйнування структури ґрунту.

2. Підйом, обертання, перемішування (відвал плуга, диски, фрезерні ножі): переформування пласта, заробка решток, вирівнювання.

3. Розпушування й руйнування ущільнених горизонтів (гаки/зуби/стояки глибокорозпушувача): інтенсивні контактні напруження та ударно-абразивний режим, високий ризик сколювань на кам'янистих ґрунтах.

4. Підрізання бур'янів і поверхнева культивация (стрілчасті лапи, плоскорізи): велика довжина контакту та домінування абразивного полірування/мікрорізання на нижній поверхні елемента.

Практично для більшості ґрунтообробних робочих органів найбільш зношуваними є: передня кромка (leading edge), носок/вістря (tip/point), нижня «польова» сторона (у плужних деталей), перехідні радіуси та місця концентрації напружень (отвори кріплення, зони наплавлення, різкі зміни товщини).

Таблиця 1 – Робочі органи, критичні зони зносу та типові інженерні цілі зміцнення (узагальнення огляду)

| Група робочих органів        | Основна функція                               | Зони максимального зносу             | Домінуючий режим                                      | Типові цілі підвищення зносостійкості                                          |
|------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Леміш плуга / долото         | Різання, підрізання, ініціація відриву пласта | Носок, передня кромка, нижня сторона | Двотільне/третільне абразивне зношування, інколи удар | Утримання гостроти; зниження масових втрат; самозагострення                    |
| Диски борони/плуга           | Різання, перемішування, подрібнення           | Зовнішній край, зона біля кріплення  | Абразивне зношування+ удар об камені                  | Підвищення ресурсу крайки без втрати в'язкості; протисколювання                |
| Стрілчасті лапи культиватора | Підрізання бур'янів, поверхнева культивация   | Ріжучі кромки «крил», нижня поверхня | Низьконапружене абразивне зношування                  | Рівномірність зносу (рівностійкість), самозагострення, зниження тягового опору |
| Ножі роторних фрез           | Розпушування, подрібнення, змішування         | Кінчик ножа, зовнішня дуга           | Абразивне зношування + адгезія/окиснення (локально)   | Підвищення ресурсу при циклічних ударах; запобігання тріщинам покриття         |

Для ґрунтообробних інструментів у більшості випадків основна частка матеріальних втрат пов'язана з дією твердих мінеральних включень у ґрунті; зокрема, в аналітичних та експериментальних роботах для лемешів, стрілчастих лап, польових дошок, дисків відзначається, що абразивне зношування є найпоширенішим видом і призводить до більшості відмов деталей ґрунтообробних машин.

У трактуванні сучасних робіт, двотільне абразивне зношування відповідає ситуації, коли частинки/зерна (або закріплені включення) «ріжуть» поверхню металу, тоді як третільне – коли вільні частинки перекочуються/ковзають між інструментом і ґрунтовою масою, формуючи полірування, подряпини, локальне викришування. Для дискових робочих органів часто підкреслюється змішаність режимів і поступова втрата гостроти з крайки.



Критичним параметром вважають відношення твердості поверхні інструмента до твердості абразиву ( $H_s/H_a$ ): при нижчих значеннях домінують мікрорізання та мікрооранка; при наближенні твердості інструмента до абразиву або перевищенні – виникають мікротріщини, фрагментація й відшарування твердих фаз/покриттів.

Контакт із камінням/гравієм (особливо для доліт, стояків глибокорозпушувачів, дисків) додає імпульсні навантаження, що сприяють сколюванню, зародженню тріщин та крихкому руйнуванню в разі «надмірної твердості без в'язкості». Тому вимога «балансу твердості й ударної в'язкості» є актуальною для всіх типів робочих органів.

У вологих і хімічно активних ґрунтах корозія може прискорювати знос через трибокорозійні процеси; адгезійне зношування в ґрунтообробних робочих органах зазвичай менш значуще, але може проявлятися на рухомих з'єднаннях або при «налипанні» ґрунту, коли змінюються умови контакту й сила тертя.

При аналізі наукових джерел [1-7] встановлено найбільш впливові фактори, які впливають на інтенсивність абразивного зношування ґрунтообробних машин є: гранулометричний склад (частка піску та розмір зерен), твердість мінералів (кварц як «сильний абразив»), вміст каміння/гравію, вологість, ущільнення ґрунту, швидкість і глибина обробітку.

Для ґрунтообробних робочих органів потрібна одночасна забезпеченість: високої поверхневої/об'ємної твердості проти абразії;) достатньої в'язкості проти удару камінням; технологічності (штампування, термообробка, зварюваність/ремонтоздатність); стабільності властивостей по перерізу та повторюваності партій. У багатьох роботах [1-7] підкреслюється, що «підвищення твердості» зазвичай загрожує крихкістю, тому компроміс «твердість ↔ в'язкість» є центральним принципом підбору матеріалу.

В українських джерелах [1] та інженерній практиці для ґрунтообробних робочих органів часто згадуються сталі, 40Х, 45 (залежно від елемента та технології), що відповідає загальній логіці застосування пружинних/конструкційних сталей із термообробкою та/або поверхневим зміцненням.

Українська робота [8] з прогнозування зносостійкості при електрошлаковому наплавленні наводить порівняння, де сталь 30MnB5 оцінена як така, що дає приріст зносостійкості приблизно 1,4–1,5 рази відносно традиційних сталей, застосовуваних у виробництві ґрунтообробних робочих органів.

Технічні дані виробника для боровмісних сталей (на прикладі Durabor) наводять типові режими аустенітизації та гарту, а також демонструють, що перехід від 30MnB5 до 38MnB5 дає близько 10% приросту твердості загартованих деталей і за результатами абразивних тестів це може транслюватися у  $\approx 40\%$  поліпшення зносостійкості.

У статті [9] наведені дані про трибологічні властивості 30MnB5 із різними режимами (в т.ч. загартування, кріообробка, відпуск) зроблено висновок, що

загартування є критично важливим для польового застосування, тоді як відпуск знижує твердість, але кріообробка з відпуском може підвищувати ударну в'язкість (тобто частково «компенсувати» крихкість високої твердості).

Для екстремального абразивного зношування застосовують сплави з високою часткою карбідних/боридних фаз (наприклад, високохромисті системи на базі Fe–Cr–C з карбідами типу M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; високобористі сталі). Їх ключова перевага – висока мікротвердість твердих фаз, але ризик – крихкість і чутливість до удару. Тому такі матеріали часто використовують як поверхневі шари (наплавки/покриття) на в'язкій основі, а не як моноліт інструмента.

Підвищення зносостійкості реалізується комбінацією: правильного вибору базового матеріалу; об'ємної термообробки; поверхневого зміцнення (дифузійного, термічного, механічного); нанесення наплавлених шарів чи покриттів; відновлення (ремонт) із повторним зміцненням. Системні огляди підкреслюють, що найбільш надійний ефект дають саме інженерні поверхневі шари з контрольованою мікроструктурою й товщиною, узгоджені з навантаженнями та ґрунтовими умовами.

Таблиця 2. Порівняння ключових технологій підвищення зносостійкості [1-7]

| Метод                             | Тип впливу                                            | Орієнтовні параметри шару/структури                            | Типовий ефект                                                                     | Ключові обмеження                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Загартування + відпуск (об'ємний) | Перетворення мікроструктури (мартенсит/троостит тощо) | Залежить від сталі; типово 45–55 HRC для хромо-бористих сталей | Для 22MnCrB5: $\approx 3\times$ зростання абразивної стійкості, менший слід зносу | Переріст зерна, крихкість при завищеній твердості                       |
| Плазмове гартування поверхні      | Поверхневий загартований шар 1–1,8 мм                 | Мінімальна зміна геометрії крайки                              | Збільшення ресурсу в 2–3 рази                                                     | Потрібне обладнання, контроль тепловкладення                            |
| Нітрування                        | Дифузійний шар нітридів                               | Тонкі шари; режим визначає структуру                           | Мінус 25–40% зносу                                                                | Ефект залежить від сталі й режиму; можливе крихке поверхнєве руйнування |
| Наплавлення кромки (SMAW/GMAW)    | Наплавлений зносостійкий шар                          | Геометрія валика/крок критичні                                 | Зниження втрат маси до 46% і розмірних втрат >86%                                 | Тріщини, відшарування, «потовщення» крайки при неправильній геометрії   |
| Лазерне наплавлення (TiC тощо)    | Металургійно зв'язаний композиційний шар              | Висока адгезія, мала зона термічного впливу                    | До 67% зменшення зносу, можливе самозагострення                                   | Вартість порошків; ризик тріщин при надлишку керамічної фази            |
| Термічне напilenня (APS/HVOF)     | Напилений шар (оксиди/карбіди/метали)                 | Товщина від 4 мкм до >5000 мкм (залежить від методу)           | Значне підвищення зносостійкості                                                  | Адгезія/пористість, ерозія                                              |

Технологічне зміцнення (покриття/термообробка/наплавлення) дає максимальний ефект лише у зв'язці з конструктивними та експлуатаційними заходами, які знижують інтенсивність зносу або роблять його керованим (передбачуваним і рівномірним).

Проведений аналіз наукових джерел, а також узагальнення сучасних інженерних практик у галузі агроінженерії й технічного сервісу підтверджують, що проблема інтенсивного абразивного та ударно-абразивного зношування

робочих органів ґрунтообробних машин залишається одним із ключових факторів, які обмежують ресурс, надійність і економічну ефективність експлуатації техніки. Встановлено, що до 60–70 % відмов лап культиваторів, лемешів, доліт, дисків і ножів пов'язані саме з втратою геометрії та маси внаслідок дії абразивних частинок ґрунту, що зумовлює підвищення тягового опору, перевитрати пального та зростання витрат на ремонт.

Доведено, що підвищення зносостійкості повинно реалізовуватися комплексно – на етапах проєктування конструкції, вибору матеріалів, технологічної обробки, зміцнення поверхні та організації технічного обслуговування. Раціоналізація геометрії робочих органів, оптимізація кутів атаки та самозагострювальних профілів сприяють зменшенню контактних напружень і стабілізації процесу зношування. Використання легованих боро- та марганцевмісних сталей, а також композиційних матеріалів дозволяє істотно підвищити твердість і опір абразивному руйнуванню без втрати в'язкості.

Експериментальні й виробничі дані свідчать, що найбільш ефективними технологічними заходами є термічне та хіміко-термічне зміцнення, наплавлення зносостійкими сплавами, нанесення твердосплавних і керамічних покриттів, плазмове та лазерне легування, а також використання полімер-композитних шарів. Застосування таких методів забезпечує зростання ресурсу деталей у 1,5–3 рази, а в окремих випадках – у 4–5 разів, що підтверджує їх економічну доцільність для умов інтенсивного землеробства.

Перспективним напрямком визначено впровадження цифрових підходів до моніторингу зносу – використання сенсорів, телематики, методів штучного інтелекту для прогнозування залишкового ресурсу та планування технічного обслуговування. Перехід від реактивної до прогнозної стратегії ремонту дозволяє мінімізувати простої машин, оптимізувати запаси запасних частин і підвищити загальну ефективність експлуатації машинно-тракторного парку.

Отже, підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин є багатофакторною інженерною задачею, вирішення якої потребує поєднання матеріалознавчих, трибологічних, конструктивних і організаційно-технологічних заходів. Комплексне застосування сучасних методів зміцнення та відновлення, доповнене цифровими системами контролю стану, забезпечує збільшення довговічності деталей, зниження експлуатаційних витрат і підвищення конкурентоспроможності аграрного виробництва.

### **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 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

3. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
4. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
5. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
6. Borak, K. V., Kulykivskyi V. L. Borovskyi V. M. Rudenko V. G., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Випуск 3 (48) 2025. Технічні науки. С.149-160.
7. Borak K. V., Kulykivskyi V. L., Rudnik D. I. Impact of the preliminary corrosion on the intensity of the abrasive wear of the working tools of the tillage machine. Scientific Works of VNTU, 2023, № 2. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-2-33-42>
8. Захаров А.В. Прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки під час їх відновлення методом електрошлакового наплавлення. Вісник Херсонського національного технічного університету. № 4(91) (2024). <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.3>
9. Bozkurt F., Hayati Çakır F., Er Ü. Investigation of the Tribological and Mechanical Properties of Boron Steels in Terms of Potential Usage in Agricultural Applications. Journal of Polytechnic, 2021; 24 (2): 431-438. <https://doi.org/10.2339/politeknik.706532>

**УДК 628.495:621.892**

## **СПОСОБИ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**В. Р. БІЛЕЦЬКИЙ**, к.т.н., доц., **В. М. САВЧЕНКО**, к.т.н., доц.,  
**О. Г. РОГОЗІН**, здоб., **В. В. ТЕРЕЩЕНКО**, здоб.  
*Поліський національний університет, м. Житомир*  
**А. В. ПЕЦЕНКО**, викл.  
*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*  
*E-mail: dgs-ua@ukr.net*

Відпрацьовані мастильні оливи є поширеним відходом у промисловості й транспорті. Їх неконтрольоване викидання чи спалювання призводить до значного забруднення ґрунтів, води й повітря. За оцінками ЄС, відпрацьовані

оливи вважаються небезпечними відходами, оскільки навіть 1 л такої оливи може забруднити  $10^6$  л води. В Україні масштаби збирання і регенерації мастил низькі: за даними фахівців, збирається лише менше 25 % спожитих мастил, з яких регенерується лише 15 % (тобто близько 3 % від обсягу споживання). Для порівняння, у Німеччині, Бельгії, Італії збирається та переробляється понад 50 % нових мастил.

Питання регенерації відпрацьованих олив набувають значущості в контексті захисту довкілля та переходу до циркулярної економіки. Європейське законодавство надає пріоритет утилізації й регенерації таких відходів: Директива 2008/98/ЕС (Фреймворк-директива по відходах) вимагає окремого збирання і щорічних звітів по відпрацьованих оливах, забороняє змішування їх з іншими видами відходів. В Україні ці відносини врегульовано

За останні 10–15 років тема переробки відпрацьованих мастильних матеріалів висвітлювалася у численних наукових роботах. Наприклад Етам Е.А. та Shoaib A. [1] детально порівнювали методи регенерації відпрацьованих мастил (екстракція розчинником, вакуумна перегонка з гідроочищенням) і зазначили, що найвищий вихід базового мастильного матеріалу (приблизно 84 %) дає комбінація перегонки та гідроочищення. В роботі [2] наголошується на необхідності «жорсткого регулювання» поводження з відпрацьованими мастильними матеріалами і аналізуються інноваційні технології регенерації, зокрема сорбційні, каталізаторні та термохімічні.

У національних джерелах активність сконцентрована здебільшого на описі технологій та нормування. В дисертаційній роботі Корчака Б.О. систематизовано методи регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів: фізичні (відстоювання, фільтрація, центрифугування, вакуумна перегонка), хімічні (кисле та лужне очищення, гідроочищення), фізико-хімічні (коагуляція, адсорбція, іонний обмін) та комбіновані. Особливо відзначається, що існуючі гідрокрекинг-методи є капіталомісткими й енергозатратними, тому перспективними вважаються комбінації глибокого фізичного очищення з наступною хімічною обробкою.

Найбільш поширені методи регенерації мастил можна розподілити на кілька груп: фізичні, фізико-хімічні, хімічні, біологічні та альтернативні (рециркуляція, енергетичне використання). Нижче наведено їх детальний опис із технічним аналізом.

До фізичних методів належать процеси, які не змінюють хімічного складу мастила, а лише видаляють механічні домішки, воду та нерозчинні продукти старіння. Найпростіший з них – відстоювання (декантація), коли суміш оливи з домішками спокійно осаджується в резервуарі. Цей метод потребує нагрівання (зниження в'язкості) та великих об'ємів, тому має дуже низьку швидкість і обмежену ефективність, оскільки значна частина домішок залишається в оливі. Фільтрація через пористі перегородки поліпшує очищення, але її ефективність залежить від ступеня початкового забруднення та наявності попередньої обробки.



Центрифугування (сепарація) ґрунтується на дії відцентрових сил. За прискореного обертання утворюються шари чистої оливи та важчі домішки (вода, шлам). Таким способом досягається глибше очищення: з відпрацьованої оливи виділяється 3 шари (забруднення, вода і сам мастильний матеріал), причому головний продукт може далі піддаватися додатковим методам очищення.

Вакуумна перегонка – це термічний метод, при якому олива нагрівається і легкі фракції (леткі сполуки, бензини, дизельне пальне) «відганяються» під пониженим тиском. Цей процес використовується як ключовий ступінь глибокого очищення, він відділяє від базового мастильного матеріалу важкі непаливні продукти та забезпечує видалення вологи. Недолік методу – високе енергоспоживання та необхідність подальшої обробки для видалення залишкових продуктів старіння (поодинокі вакуум недостатньо ефективний).

Фізико-хімічне очищення включає адсорбцію, іонно-обмін, селективну екстракцію.

Адсорбція – один із найпоширеніших методів, що заснований на зв'язуванні домішок поверхнею адсорбентів. Підбор адсорбенту залежить від характеру забруднень: цеоліти/сілікагель добре вбирають воду та кислоти, а фуллерова земля – продукти окиснення і нагар. Процес може бути контактним (перемішування оливи з гранульованим адсорбентом) або фільтраційним (перколяція оливи через шар адсорбенту). Адсорбція демонструє високу ефективність очищення (усуває до 90–95 % суспензійних і колоїдних домішок) з помірними енерговитратами. Головним недоліком є вартість адсорбенту та необхідність його регенерації чи утилізації.

Інший фізико-хімічний метод – селективна екстракція (контактне розчинення) – передбачає використання розчинників, які вибірково виводять шкідливі компоненти, залишаючи базові вуглеводні неторканими. Наприклад, суміш ацетону з крезолом, фенолом, нітробензолом тощо, здатна розчиняти загусники і асфальто-смоли, що утворюються при старінні олив. Після змішування з розчинником і відстоювання олива-дистилятор відганяють розчинник, очищений мастильний матеріал відділяється від відпрацьованих домішок. Екстракція дає високу якість базового мастильного матеріалу, але пов'язана з високою капіталовитратністю (спецобладнання, розчинники) і небезпекою виникнення летких органічних сполук у процесі.

Іонно-обмінна очистка за принципом схожа на адсорбцію, але використовує спеціальні смоли для захоплення розчинених іонних домішок, не поширена на рівні великих установок регенерації мастил через вартість.

Хімічні методи очищення передбачають реакції забруднень з додатковими реагентами. Найвідоміші – кислотне очищення та гідроочищення (гідрокрекінг).

При кислотному очищенні в оливу вводять сірчану кислоту, яка реагує з кислими продуктами старіння і ненасиченими вуглеводнями, викликаючи випадіння «кислого гудрону» (асфальто-смолистих сполук) у вигляді осаду.

Після реакції отриманий шлам легко відокремити фільтрацією чи декантацією. Останній етап – нейтралізація залишків кислоти лугом, щоб очистити базову оливу від продуктів реакції. Цей метод дає значну очистку від органічних забруднень, але породжує рідини з високою кислотністю та шлами (асфальт), які необхідно утилізувати як небезпечні.

Гідроочищення – процес обробки відпрацьованих мастильних матеріалів воднем при високих температурі й тиску з використанням каталізаторів. Він ефективно знижує вміст сірки та кисневмісних сполук, усуває окисні продукти і багатокомпонентні домішки шляхом реакцій гідрогенізації й гідрокрекінгу. Гідроочищення дає дуже високу якість відновленого мастильних матеріалів, близьку до нафтових базових олив, але вимагає дорогого устаткування, каталізаторів і великих енергетичних витрат. За рахунок цього вихід регенерації (відношення маси отриманого базового мастильного матеріалу до маси витраченого відпрацьованого мастильного матеріалу) у схемах з гідрообробкою є одним з найбільших, але вартість процесу висока.

Каталітичні методи (без введення  $H_2$ , наприклад, абсорбційні каталітичні процеси) в практиці переробки відпрацьованих мастильних матеріалів використовуються рідше. Іноді розробляють адсорбційно-каталітичні установки, де забруднення поглинаються активним металом на каталізаторі (Ni, Co, молібден на оксиді алюмінію). Ця технологія схожа на гідроочищення, але дешевша в деяких аспектах, хоча найчастіше все ж доповнюється водневою обробкою.

Біологічні методи очищення відпрацьованих мастильних матеріалів досліджуються переважно в контексті очищення забруднених ґрунтів та стоків (біоремедіація). Концепція «біорегенерації» полягає у використанні мікроорганізмів або ферментів для розкладу шкідливих компонентів відпрацьованої оливи. На практиці застосування біорегенерації до відпрацьованих олив обмежене, такі методи тривалі за часом і мають низьку швидкість очищення. Проте вони екологічно безпечніші, оскільки не генерують хімічних відходів. В умовах промислового масштабу біорегенерація використовується рідко, однак вона потенційно може бути корисною як фінальна стадія для видалення решт нафтопродуктів після грубих методів очищення.

Ще один підхід – змішування відпрацьованих і нових мастил (re-refining blend), або використання відпрацьованих мастильних матеріалів як компоненту у неопераційних мастильних рідинах. Це не очищає мастильний матеріал, а лише «розбавляє» забруднення. Таке рішення найчастіше застосовують в автомобільних гаражах і промисловості, коли за недорогим змішуванням слідує використання суміші в ненавантажених системах (наприклад, для змазки ланцюгів, двигунів малої потужності). Цей спосіб простий і недорогий, але не забезпечує строгого видалення токсичних домішок, тому обмежений до вторинного застосування, де остаточна якість мастила не є критичною.

Нарешті, одним із варіантів є спалювання відпрацьованих мастильних матеріалів як дешевий паливний ресурс у спеціальних котлах. Це екстремальний спосіб: замість очищення мастильний матеріал використовується для генерації тепла чи електроенергії. З одного боку, він майже не потребує технологічного очищення (лише груба фільтрація) і забезпечує енергетичний вихід, але з іншого – супроводжується високим викидом забруднюючих речовин ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , важкі метали, діоксини) і шкідливих речовин в золу. Такий метод регулюється нормами щодо спалювання небезпечних відходів. За можливості він вважається найгіршим з точки зору екології і повинен застосовуватися лише тоді, коли інші варіанти недоступні.

Повторне використання та регенерація відпрацьованих мастильних матеріалів є складним, але необхідним завданням для сучасної екологічно орієнтованої економіки. Кожен з розглянутих методів має свої сильні та слабкі сторони: прості фізичні та фізико-хімічні технології недорогі, але мають обмежену глибину очищення, тоді як високоінтегровані схеми (вакуумна перегонка + гідроочищення) дають максимальний вихід якісного базового мастильного матеріалу, проте потребують великих капітальних і енергетичних ресурсів. У порівнянні з енергетичним спалюванням, регенерація призводить до значного зменшення викидів токсичних речовин і дозволяє повернути майже 80–90 % матеріалу у повторний технологічний цикл.

В Україні (як і в ЄС) існує нормативна база, яка стимулює збір та регенерацію відпрацьованих мастильних матеріалів. Для досягнення екологічної безпеки й економічної ефективності слід підтримувати розвиток передових технологій і розширювати мережу їх впровадження. Проведений аналіз показує, що інвестиції в регенерацію мастильних матеріалів можуть окупитися через довгострокову вигоду від зниження негативного впливу на довкілля і зменшення залежності від імпорту нафтових компонентів. Загалом, перехід до широкої практики повторного використання відпрацьованих мастильних матеріалів є невід’ємною частиною стратегії сталого розвитку промисловості та охорони довкілля.

### **Список використаних джерел**

1. Emam E.A., Shoaib A. Re-refining of used lube oil, i- by solvent extraction and vacuum distillation followed by hydrotreating. *Petroleum and Coal*. 2013. 55(3). pp. 179-187.
2. Islam Sazzad Md R., Rahman Md M., Hassan T. Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights, innovative enhancements, and conversion to fuel. *Heliyon* 10 (2024) e39248. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39248>.
3. Корчак Б. О. Регенерація відпрацьованих мінеральних моторних олів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.17.07 – хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів / Богдан Орестович

Корчак; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2019. 207 с.

УДК 631.331.5:621.892

## **НАРАЛЬНИКОВІ СОШНИКИ СТЕРНЕВИХ СІВАЛОК: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПОШКОДЖЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ**

**І. С. ХАРЬКОВСЬКИЙ**, к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

Наральникові сошники є визначальними робочими органами стерневих сівалок, що забезпечують формування посівної борозни в умовах мінімального або нульового обробітку ґрунту. Робота в середовищі з підвищеним вмістом рослинних решток і твердих включень зумовлює значні абразивні та ударні навантаження, що висуває підвищені вимоги до міцності й зносостійкості конструкції [1, 2].

Довговічність наральникових сошників є одним із визначальних чинників формування структури експлуатаційних витрат стерневих сівалок. Оскільки сошник належить до швидкозношуваних робочих органів, його ресурс безпосередньо впливає на частоту технічного обслуговування, обсяг ремонтних операцій та загальні витрати на підтримання працездатності посівних машини [3, 4].

У вітчизняному машинобудуванні наральникові сошники застосовуються у стерневих сівалках типу «Астра» (ELVORTI), СЗМ «Фаворит», СЗС-2,1 та інших агрегатах для прямого висіву. Конструкція таких сошників зазвичай є монолітною або зварною зі змінним загартованим наконечником. Виготовлення здійснюється з легованих сталей із поверхневим або індукційним зміцненням робочої кромки. Типові геометричні параметри становлять: довжина 250–350 мм, ширина леза 12–20 мм, товщина 8–14 мм, твердість робочої зони 45–55 HRC, кут атаки 15–25°. Перевагою є технологічна простота та ремонтпридатність, однак ресурс у середньому становить 600–1200 га залежно від ґрунтових умов.

Закордонні виробники – Horsch (Pronto DC), Väderstad (Rapid A), Amazone (Condor), John Deere (750A) – застосовують модульні наральникові системи з твердосплавними вставками, борованими або карбідно-армованими поверхнями. Конструкція оптимізується з використанням числового моделювання напружено-деформованого стану, що дозволяє зменшити концентрації напружень у зоні кріплення та підвищити стійкість до ударних навантажень. Типові параметри: довжина 300–400 мм, ширина робочої кромки

15–25 мм, товщина 10–16 мм, твердість 55–62 HRC, кут атаки 18–30°. Орієнтовний ресурс сягає 1200–2500 га.

Найпоширенішими експлуатаційними пошкодженнями є абразивне зношування передньої крайки, зменшення товщини носової частини, утворення мікротріщин у зоні максимальних згинальних моментів, пластична деформація профілю та руйнування отворів кріплення. Умови роботи на піщаних і супіщаних ґрунтах прискорюють втрату геометрії, що негативно впливає на стабільність глибини загортання насіння та підвищує тяговий опір агрегату.

Підвищення довговічності наральникових сошників доцільно здійснювати комплексно. Перспективними напрямками є застосування легованих сталей з оптимальною термічною обробкою, локальне наплавлення карбідів вольфраму, борування або лазерне зміцнення робочої кромки, а також впровадження модульних конструкцій зі змінними зносостійкими елементами. Важливим чинником є раціональний вибір кута атаки залежно від типу ґрунту та дотримання регламентів технічного обслуговування.

Підвищення довговічності наральникових сошників є ефективним резервом зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт стерневих сіялок. Інвестиції у зміцнені або модернізовані конструкції сошників економічно виправдані за рахунок зменшення частоти замін, скорочення простоїв, стабілізації агротехнічних показників і зниження енергетичних витрат [5]. У системі управління надійністю посівної техніки довговічність сошників виступає ключовим фактором оптимізації життєвого циклу машини [4].

Таким чином, підвищення експлуатаційної надійності наральникових сошників можливе шляхом поєднання конструктивних, матеріалознавчих і технологічних рішень, що дозволяє збільшити їхній ресурс на 25–40% та забезпечити стабільну якість посіву в умовах стерньового землеробства.

### Список використаних джерел

1. Karayel D. et al. (2024). *The Effect of Furrow Opener and Disc Coulter on Seeding Performance*. *Agronomy* (MDPI), 1277-1288. DOI:10.3390/agriengineering6020073
2. Novitskiy A. V., Kharkovskiy I. S., Novitskiy Yu. A. (2021). Monitoring the technical condition of agricultural machinery for guideline materials for its operation. *Machinery and Energetics*. 12(4), pp. 85–93.
3. Бойко А. І., Харьковский І. С. (2006). Експериментальні дослідження динаміки зношення наральникових сошників. *Наукові праці ТДАТА. Мелітополь*. Вип. 39. С. 85–89.
4. Novytskyi, A. V., Bannyi, O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. 12(2), pp. 39–47.
5. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. (2016). Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. *Науковий Журнал «Технічний сервіс*



агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. Вип. 2. С. 223–231.

**УДК 631.372**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МТА З АКТИВНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**А. П. ЮРАШ** аспірант,  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Сучасна тенденція до збільшення потужності тракторів призводить до зростання їхньої конструкційної маси, що спричиняє надмірне ущільнення ґрунту, руйнування його структури та зниження родючості. Застосування важкої техніки погіршує водно-повітряний режим родючого шару, що веде до деградації угідь. Реалізація тягово-енергетичної концепції через використання всієї маси МТА як зчіпної дозволяє застосовувати легші трактори нижчих тягових класів, мінімізуючи навантаження на ґрунт та знижуючи енерговитрати [1, 2].

**Мета досліджень.** Диференціація джерел механічної енергії по складовим МТА для забезпечення його руху та приводу робочих органів, а також експериментальна перевірка системи автоматизованого узгодження потоків енергії між модулями.

**Результати досліджень.** Для перевірки концепції було сформовано експериментальний агрегат у складі трактора Т-25, електромодуля на базі ХТЗ-2511 (10 кВт) та причепа 1-ПТС-9. Управління здійснювалося системою на базі Arduino, що зчитувала дані з тензометричної ланки через підсилювач НХ711, регулюючи тягу електромодуля відповідно до навантаження.



Рис. 1. Експериментальний машинно-тракторний агрегат з автоматизованим енергомодулем

Основою системи керування став вимірювальний комплекс на базі платформи Arduino та тензометричної ланки, встановленої між основним трактором та додатковим електромодулем. Сигнал із тензодатчиків через підсилювач НХ711 оброблявся мікроконтролером, який формував керуючий сигнал напругою 0–5 В для контролера електродвигуна. Це забезпечило динамічне узгодження потужностей відповідно до зміни тягового опору.

В ході випробувань встановлено, що розподіл потужності дозволяє виконувати енергоємні операції (транспортування вантажу 6,5 т) при меншому питомому тиску на ґрунт.

Таблиця 1. Техніко-експлуатаційні параметри експериментального модульного МТА

| Показник                                 | Енергомодуль №1 (Т-25) | Енергомодуль №2 (Електро) | Комбінований агрегат (Разом) |
|------------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Тип силової установки                    | Дизельний ДВЗ          | Електродвигун             | Гібридна (ДВЗ + Електро)     |
| Номінальна потужність, кВт               | 18,4                   | 10                        | 28,4                         |
| Маса модуля, кг                          | 1780                   | 1450                      | 3230                         |
| Система узгодження                       | Ручна                  | Автоматична (Arduino)     | Автоматизована               |
| Здатність до руху з повним навантаженням | Недостатньо тяги       | Недостатньо тяги          | Забезпечено                  |

Аналіз роботи системи підтвердив високу чутливість електроприводу до зміни тягового опору. Завдяки миттєвій реакції навантаження розподіляється динамічно, що запобігає буксуванню та надмірному зсуву верхнього шару ґрунту [3].

**Висновки.** Реалізація модульного принципу на базі тягово-енергетичної концепції дозволяє використовувати трактори нижчих тягових класів для переміщення значних вантажів, що знижує металомісткість та шкідливий вплив на ґрунт. Розроблена система на елементній базі Arduino підтвердила працездатність алгоритму перерозподілу потужності між модулями МТА. Подальше вдосконалення програмного забезпечення передбачає впровадження ПД-регуляторів із можливістю гнучкого налаштування під конкретні параметри агрегатів.

### Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Погорілий С. П. Тягово-енергетична концепція сільськогосподарських машино-тракторних агрегатів: монографія. Глеваха: ІМА АПВ НААН, 2025. 210 с.

2. Погорілий С. П., Присяжний В. Г. Перспективи використання мультиенергетичних МТА в агропромисловому виробництві. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2024. № 18 (112). С. 45–52.

3. Третьяк В. М. Методология обоснования масс и тяговых мощностей модульных тягово-транспортных средств : дис. ... д-ра техн. наук. Харків, 2006. 340 с.

## УДК 631.31

### ДЕМПФУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДДЯХ

**М. С. ХРАМОВ** асистент кафедри агроінженерії,  
**О. О. ЛИМАР** доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин,  
експлуатації і технічного сервісу,  
*Миколаївський національний аграрний університет,*  
*E-mail: khramovms@mnaau.edu.ua*

**Вступ.** Динамічні навантаження, що виникають у процесі експлуатації ґрунтообробних знарядь, є ключовим фактором, який впливає на ефективність і довговічність їхньої роботи. Змінні навантаження зумовлені низкою причин, які пов'язані з характеристиками ґрунту, умовами експлуатації та конструктивними особливостями агрегатів [1,2]. Основні причини таких навантажень включають нерівномірність ґрунту, відмінності в швидкості руху агрегатів, зміни глибини обробітку, вібрації, коливання сили опору, а також перешкоди, що впливають на стійкість робочих органів. Наприклад, різна щільність і структура ґрунту створюють змінний опір на робочі органи, а нерівності поверхні або включення, такі як каміння чи коріння, призводять до раптових пікових навантажень [3]. Відмінності в швидкості руху агрегату, пов'язані з нерівною поверхнею ґрунту або змінами траєкторії, спричиняють додаткові динамічні впливи. Аналогічно, регулювання глибини обробітку або коливання її через зміни польових умов також змінюють силу, необхідну для роботи агрегатів [4]. Окрім цього, вібрації, що виникають у процесі роботи агрегатів, можуть досягати резонансних частот, що значно підвищує навантаження на конструктивні елементи [5].

**Опис результатів.** Одним із важливих способів підвищення стійкості ротаційних ґрунтообробних агрегатів є використання демпфуючих елементів для зменшення негативного впливу динамічних коливань. Коливання, що виникають під час роботи агрегатів, спричиняють вібрації, підвищене зношування деталей і зниження якості обробітку ґрунту.

Серед розглянутих методів гумові амортизатори поглинають 5 Дж енергії та забезпечують високий рівень стабільності, що робить їх універсальним рішенням для комплексного зниження вібрацій в агрегаті. Пружини, які поглинають 7 Дж, мають середній рівень стабільності, але ефективно компенсують динамічні навантаження, що виникають при взаємодії робочих органів з твердим ґрунтом або камінням. Полімерні вставки поглинають 4 Дж енергії та забезпечують середню стабільність, переважно застосовуються для зниження вібрацій без значного механічного навантаження на робочі органи. Динамічні демпфери, що поглинають 6 Дж енергії, мають дуже високий вплив на стабільність, що робить їх ідеальними для забезпечення ефективного контролю вібрацій і стабільної роботи агрегату в цілому.

Застосування демпфуючих технологій дозволяє не лише мінімізувати ці впливи, але й покращити продуктивність і довговічність техніки (табл. 1).

Таблиця 1.

Методи зниження вібрацій і динамічних навантажень

| Метод зниження вібрацій | Тип елементу     | Поглинання енергії (J) | Вплив на стабільність                                                                    |
|-------------------------|------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гумові амортизатори     | Вузли кріплення  | 5                      | Високий (забезпечують стабільність роботи агрегату в цілому)                             |
| Пружини                 | Система підвіски | 7                      | Середній (знижують коливання і сприяють стабільності положення робочих органів)          |
| Полімерні вставки       | Робочі органи    | 4                      | Середній (поглинають вібрації і забезпечують стабільність положення робочих органів)     |
| Динамічні демпфери      | Шасі агрегату    | 6                      | Дуже високий (ефективно знижують вібрації і забезпечують стабільність агрегату в цілому) |

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновки щодо ефективності різних методів зниження вібрацій і динамічних навантажень. Поглинання енергії, зазначене в джоулях, відображає кількість енергії, яку кожен елемент може абсорбувати під час роботи. Цей показник є ключовим, оскільки він визначає здатність системи знижувати вібрації та їхній негативний вплив на стабільність роботи агрегату. Чим більше енергії елемент може поглинути, тим краще справляється із зменшенням вібрацій і ударних навантажень. Вплив на стабільність вказує на ефективність елементів у підтриманні стійкої роботи агрегату. Наприклад, гумові амортизатори і динамічні демпфери демонструють високий і дуже високий рівень стабільності, відповідно, що робить їх найбільш

ефективними у зниженні вібрацій і захисті конструкції від зношення або поломок.

Оптимальне поглинання енергії залежить від умов експлуатації агрегату. Воно повинно бути достатнім для зниження вібрацій та динамічних навантажень, але без створення додаткових конструктивних ускладнень, таких як надмірна вага. У цьому контексті динамічні демпфери та гумові амортизатори є найбільш ефективними методами, оскільки вони забезпечують високий рівень стабільності роботи агрегату, зменшують знос елементів конструкції та сприяють збільшенню їхнього терміну служби.

В ґрунтообробній техніці гумові амортизатори можуть поглинати удари й вібрації, які виникають у вузлах кріплення. Можливе застосування амортизаторів у дискових вузлах, де навантаження часто мають пульсуючий характер. Вони є стійкими до впливу ґрунтової вологості та абразивних частинок, що робить їх практичним вибором для польових умов.

Полімерні матеріали, зокрема поліуретан або високоміцний пластик, також широко використовуються як демпфуючі елементи. Вони поєднують високу зносостійкість із здатністю поглинати ударні навантаження. Полімерні вставки можуть бути інтегровані у вузли кріплення або використовуватися як проміжні шари між металевими деталями. Їх перевага полягає у зниженні ваги конструкції та високій стійкості до хімічного впливу.

**Висновки.** Використання демпфуючих елементів, зокрема амортизаторів і спеціальних гумових демпферів на з'єднаннях, дозволяє зменшити вібрації та шум під час роботи агрегатів на 25-30%. Це не лише продовжує термін експлуатації окремих вузлів і конструкції загалом, але й забезпечує більш комфортні умови праці для операторів техніки. Крім того, зниження коливань сприяє рівномірності обробки ґрунту, що є важливим фактором для підвищення врожайності. Таким чином, впровадження демпфуючих елементів є одним із ключових напрямків удосконалення ротаційних ґрунтообробних агрегатів, що дозволяє досягти кращих результатів за рахунок стабільної роботи та довговічності техніки.

### Список використаних джерел

1. Hruban V., Panfilova A., Galeeva A., Khramov M (2025). Optimisation of structural parameters of rotary tillage units to increase the stability operation under the influence of variable loads *Machinery&Energetics* vol. 16, №1. 106-121. DOI: 10.31548/machinery/1.2025.65
2. Hruban, V., Drobotko, A., Khramov, M., Tovpyha, M. (2025). Strength analysis and optimisation of trailer agricultural machinery structures using finite element methods. *Machinery&Energetics*, 16(2), 117-130. <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2025.117>
3. Kairov, A.S., Iskanderov, R.A., Lyman, O.O., Kapura, I.A., Bakhshiyev, I.I. (2024). Effect of composite nanocoatings on wear-resistance and productivity of



socket mills. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 16(4), 77-84. EID 2-s2.0-85214844790

4. Kuts, O., Kokoiko, V., Mykhailyn, V., Syromyatnikov, Y., Zhernova, O. (2023). Fertilisation system influence on the main agrochemical indicators of soil and productivity of white cabbage. *Scientific Horizons*, 11(26), 69-79.

5. Syromiatnykov, Y. (2022). Soil stratification for weed control. *Ražas s̆vetki, Vecauce–2022”: Miers baro, karš posta*, 76-79.

**УДК 62-7: 631.8: 65.012.4**

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ ПІД ВПЛИВОМ ЦИФРОВІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**В. М. БОРОВСЬКИЙ**, ст. викладач

**Д. Р. КРАСІЦЬКИЙ**, здоб.,

**В. В. ІВАНЧЕНКО**, здоб.,

*Поліський національний університет, м. Житомир*

**Н. О. ДАНИЛЮК**, здоб.

**О. А. ЛЕОНЕЦЬ**, здоб.

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*

*E-mail: koss1983@meta.ua*

Цифрова революція у сільському господарстві – нова фаза розвитку агропромислового комплексу, передбачає впровадження GPS-навігації, безпілотних систем, великих даних та штучного інтелекту для оптимізації всіх технологічних процесів. Згідно з роботою Lencsés і Mészáros [1], сучасне сільське господарство проходить кілька етапів: від традиційного і трудомісткого виробництва до зеленої революції (механізація, добрива), далі – до «цифрової революції» (технології VRT, GPS, карти врожайності) і до «розумного землеробства» (IoT, Big Data, хмарні сервіси, БПЛА). У цьому контексті організація технічного сервісу машинно-тракторного парку МТП зазнає принципових змін: зростає значущість моніторингу стану машин у реальному часі, застосування аналітики для прогнозного обслуговування, а також дистанційних сервісів та оновлення програмного забезпечення техніки.

В Україні цифровізація агросектору набуває особливого значення в умовах відновлення після кризи та війни. Тільки великі агрохолдинги сьогодні здатні масштабно впроваджувати новітні інформаційні технології, що потребує створення інтегрованих цифрових платформ для управління всією інфраструктурою господарства (від моніторингу ґрунту до логістики запчастин). Однак існують істотні бар'єри: недостатній доступ до інтернету у

віддалених районах, нестача фінансових ресурсів і фахівців з новими цифровими компетенціями. Водночас цифрова трансформація обіцяє зниження собівартості та збільшення продуктивності. Як зауважують дослідники, перехід до цифровізації «радикально змінює підходи до організації збору, обробки та зберігання даних, скорочує витрати, підвищує продуктивність і зрештою, рентабельність».

Ідея «цифрового землеробства» або «розумного агровиробництва» підкреслює використання ІТ, мережевих сенсорів, аналітики та AI для оптимізації всіх етапів господарювання. Згідно з USDA, цифрове землеробство – це «безперервна трансформація фермерства, що включає цифровізацію та автоматизацію сільськогосподарських завдань» [2]. Технологічний прогрес дає змогу вбудовувати в техніку GPS-моніторинг, системи автопілотування, датчики показників роботи двигуна, рівнів рідин, тиску, температури тощо. Так, 4G/5G-модулі (наприклад, John Deere MTG 4G LTE) об'єднують зв'язок у мережі мобільного зв'язку, GPS, CAN/Ethernet-з'єднання з трактором, забезпечуючи передачу великих обсягів даних для телеметрії, контролю стану та дистанційного обслуговування. У праці [3] відзначають, що впровадження телеметрії значно розширює можливості обліку ресурсів і управління ними. Дані з різних джерел акумулюються та аналізуються у хмарних платформах, що дозволяє точно оптимізувати операції поливу, внесення добрив та закупівель запчастин.

Практичні приклади демонструють, як телеметрія змінює технічний сервіс. Наприклад, системи John Deere JDLink і Service Advisor Remote дозволяють інженерам підприємства або дилеру бачити стан усіх оснащених тракторів та комбайнів, віддалено зчитувати коди несправностей, слідкувати за параметрами й навіть перепрошивати контролери техніки. Ще одна особливість – система «Expert Alerts» JDLink, що завчасно попереджає про потенційні відмови (на основі аналізу датчиків, які ще не вийшли з ладу), дозволяючи дилеру або сервісній службі усунути проблему «на випередження». Показово, що на одному сучасному тракторі може бути доступно понад 1700 параметрів для моніторингу, що відкриває широкі можливості для Big Data-аналітики.

Наукові роботи підкреслюють, що цифровізація створює нову підсистему основного капіталу – цифрові активи, які інтегрують технологічні, біологічні та інформаційні процеси виробництва. Цифрова трансформація МТП спрямована на оптимізацію всього ланцюга виробництва та сервісу: від управління земельним банком і планування посівних кампаній до логістики машин і ремонтних робіт. У їх моделі пропонується створити єдину цифрову платформу («аграрний портал»), що об'єднувала б системи моніторингу посівів, складського обліку, технічного сервісу та логістики запасів.

Впровадження цифрових рішень докорінно змінює підхід до сервісу МТП: замість традиційного «робимо після поломки» переходять на превентивний та проактивний. Основні зміни включають:

- *Профілактичне обслуговування.* На підставі телеметричних даних формується графік техобслуговування за мотогодинами та станом деталі. Приклади з промисловості свідчать, що це дозволяє істотно скоротити ймовірність аварійних поломок. Менеджери сервісу отримують миттєві сповіщення про аномалії, що дає змогу планувати огляди і заміну деталей заздалегідь.

- *Дистанційний моніторинг і діагностика.* Інженери можуть в режимі онлайн спостерігати за станом усіх пристроїв парку: переглядати діагностичні коди, показники ефективності, історію роботи. За даними кейсу, в одному тракторі John Deere доступно понад 1700 параметрів, які можна аналізувати дистанційно з будь-якої точки світу при наявності телематичного обладнання. Отримані дані дають змогу віддалено «бачити» проблему ще до її прояву: наприклад, записи тахограм підтвердили невірну роботу клапана пального насоса і дозволили замінити вузол заздалегідь. Таким чином технічна служба може не лише скоротити час на виїзди, але й дистанційно оновлювати ПЗ і налаштування контролерів (Over-The-Air updates).

- *Ремонт і логістика запчастин.* З навантаженням на техніку та історією поломок пов'язана оптимізація запасів. Системи управління можуть підказувати, які запчастини слід завжди мати на складі, а які – замовляти «під заказ», виходячи з аналітики роботи техніки. Наприклад, автоматика може проаналізувати середній інтервал між замінами повітряних фільтрів або гумових елементів і автоматично включати їх у графік постачання, що знижує потребу в затратах на терміновий логістичний ланцюжок. В перспективі окремі виробники пропонують навіть «розумні» запчастини, які самостійно сигналізують про наближення ресурсу і можуть автоматично відправляти запити на поповнення через інтернет-торгівлю.

- *Сервісні угоди (SLA) та бізнес-моделі.* З'являються нові формати обслуговування: виробники техніки можуть пропонувати замість простого гарантійного ремонту послуги за підпискою на сервіс (наприклад, фіксована щомісячна плата за «uptime» техніки), що забезпечує мінімальний час простою. Завдяки віддаленому моніторингу він додає клієнтам впевненості у швидкому реагуванні сервісної служби. Більше того, виробники отримують додаткові джерела доходів: аналіз даних з парку дозволяє їм удосконалювати конструкції машин, а також продавати агропідприємствам аналітичні послуги (KPI-моніторинг, дашборди продуктивності). Такий перехід помічено в світових трендах (наприклад, John Deere та CLAAS уже пропонують підписку на SmartService).

Цифровізація МТП висуває нові вимоги до персоналу. Технікам і інженерам потрібні не лише традиційні навички ремонту механіки та гідравліки, але й компетенції у галузі ІТ: вміння працювати з ПЗ-інтерфейсами, розуміти дані телеметрії, інсталиувати та налаштовувати електронні модулі.

Перекваліфікація повинна включати основи діагностики з використанням онлайн-платформ, принципи роботи сенсорів і GPS-навігації, а також мінімальні знання про ІТ-інфраструктуру (мережі GSM, LTE, безпека даних). Зростає роль аналітиків технічних даних: окремі агрохолдинги вже вводять посади «спеціаліст з агротехнічних даних» або «інженер з сервісного моніторингу». Водночас слід враховувати соціальні аспекти: в сільській місцевості значна частина персоналу – це фахівці старшого віку, які можуть неохоче опановувати новітнє програмне забезпечення. Тому для держави є сенс сприяти створенню освітніх програм і тренінгів для агротехніків з цифрових навичок, а також розвивати мережеву інфраструктуру у сільській місцевості.

Цифровізація сільського господарства відкриває нові можливості для технічного сервісу МТП, переводячи його з реактивного режиму на високоефективне превентивне обслуговування. Сучасні технології, телеметрія та AI дозволяють аграрним підприємствам оперативно моніторити стан машин, прогнозувати неполадки та оптимізувати логістику ремонту. Це веде до суттєвого зменшення простоїв техніки і витрат на ремонт та запчастини, що підвищує продуктивність і економічну ефективність господарства.

Водночас трансформація сервісу супроводжується викликами: необхідні значні початкові інвестиції, зміна навичок персоналу, забезпечення кібербезпеки та нової нормативної бази. Українським агропідприємствам слід працювати в цих напрямках у тісній кооперації з ІТ-галуззю та державними органами. Імплементация рекомендацій зокрема створить сприятливі умови для поширення цифрових сервісів у всіх ланках аграрного виробництва та сприятиме підвищенню конкурентоздатності сектору.

### **Список використаних джерел**

1. Lencsés E., Mészáros K. Business model innovation with precision farming technology from the farmers point of view. Hungarian agricultural engineering. № 38/2020. pp. 79-84.
2. Fadden J., Njuki Er., Griffin T. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Economic Research Service. 2023. Farms. 52p.
3. Bezpartochnyi M., Britchenko I. Digitalization for agriculture and rural development in Ukraine. International Conference «Economic science for rural development» № 56 Jelgava, LLU ESAF, 11-13 May 2022, pp. 398-406.

УДК 629.33:658.562:658.64

## ГАРАНТІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ЯК СКЛАДОВА СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ПІСЛЯПРОДАЖНОЇ ПІДТРИМКИ

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Р. В. БАЩУК**, викладач

*ВСП «Конопотський індустріально-педагогічний фаховий коледжу» Сум ДУ*

*E-mail: [Novytskyy@nubip.edu.ua](mailto:Novytskyy@nubip.edu.ua), [bashchuk.roman@ukr.net](mailto:bashchuk.roman@ukr.net)*

Гарантійне обслуговування сучасних транспортних засобів є невід'ємним елементом системи управління якістю продукції, інструментом підтримання експлуатаційної надійності та важливою складовою конкурентної стратегії автовиробника. Досвід компаній Honda Motor Co., Ltd. та Hyundai Motor Company демонструє системний підхід до формування гарантійної політики, що охоплює правові, технічні, організаційні та економічні аспекти післяпродажного супроводу автомобілів [1, 2].

Гарантійні зобов'язання зазначених виробників базуються на принципі відповідності продукції встановленим технічним вимогам і стандартам безпеки протягом визначеного строку або пробігу. Базова гарантія на нові автомобілі, як правило, становить 3–5 років або 100–150 тис. км пробігу залежно від ринку реалізації. Для окремих вузлів і систем передбачено розширені гарантійні умови. Зокрема, гарантія від наскрізної корозії кузова може становити до 10–12 років за умови дотримання регламенту технічного обслуговування, а на силові агрегати в окремих країнах застосовуються розширені гарантійні програми.

Організаційна структура гарантійного обслуговування передбачає функціонування розгалуженої мережі авторизованих сервісних центрів, які здійснюють діагностику, ремонт і заміну дефектних компонентів відповідно до регламентів виробника. Важливою складовою є стандартизована процедура розгляду гарантійних звернень, що включає реєстрацію випадку, технічну експертизу, підтвердження гарантійності дефекту та виконання ремонтних робіт із використанням оригінальних запасних частин. Такий підхід мінімізує ризик повторних відмов і забезпечує відтворюваність технологічних процесів обслуговування.

Трудомісткість робіт з технічного обслуговування та ремонту при гарантійному обслуговуванні визначає обсяг необхідних людських ресурсів і часові витрати на виконання всіх регламентованих операцій []. Вона є критерієм планування кадрового забезпечення сервісних центрів та ефективності організації робочих процесів, оскільки впливає на пропускну спроможність пунктів обслуговування і швидкість усунення несправностей. Крім того, точне визначення трудомісткості дозволяє оптимізувати витрати



виробника та підтримувати високий рівень надійності транспортних засобів на початкових етапах експлуатації.

Технічна специфіка гарантійного обслуговування автомобілів зазначених компаній зумовлена високим рівнем інтеграції електронних систем керування, застосуванням турбонаддуву, систем безпосереднього впорскування палива, гібридних і електрифікованих силових установок. Для транспортних засобів із гібридними та електричними системами передбачаються окремі гарантійні умови на тягові батареї, інвертори та електродвигуни, що може включати гарантійний строк до 8 років або визначений ресурс пробігу. Обов'язковою умовою збереження гарантії є виконання регламентного технічного обслуговування у встановлені строки та використання рекомендованих виробником матеріалів і рідин.

З економічної точки зору гарантійне обслуговування виконує функцію індикатора якості виробничих процесів. Частота та структура гарантійних звернень дозволяють виробнику здійснювати зворотний зв'язок із ринком, коригувати конструктивні рішення, вдосконалювати технології виготовлення та підвищувати рівень надійності окремих вузлів. Аналіз гарантійної статистики сприяє оптимізації запасів запасних частин, плануванню логістики та формуванню сервісної політики дилерської мережі.

Суттєвим аспектом є диференціація гарантійних і негарантійних випадків. До гарантійних відносяться виробничі дефекти матеріалів або складання, що проявилися в межах гарантійного строку за умови належної експлуатації. Негарантійними визнаються пошкодження, спричинені порушенням правил експлуатації, несвочасним технічним обслуговуванням, використанням неоригінальних або невідповідних компонентів, а також зовнішніми механічними впливами. Такий розподіл забезпечує баланс інтересів виробника та споживача й стимулює дотримання експлуатаційної дисципліни.

Особливістю підходу зазначених компаній є інтеграція цифрових сервісів у систему гарантійної підтримки. Використання електронних сервісних книжок, централізованих баз даних обслуговування та дистанційної діагностики дозволяє підвищити прозорість гарантійних процедур і скоротити час прийняття рішень щодо ремонту. Крім того, впровадження глобальних стандартів обслуговування сприяє уніфікації якості сервісу незалежно від країни реалізації автомобіля.

Узагальнюючи, гарантійне обслуговування автомобілів Honda та Hyundai є комплексною системою, що поєднує технічні регламенти, організаційні процедури та економічні механізми управління якістю. Порівняльний аналіз гарантійних стратегій автомобілів Honda та Hyundai представлено в таблиці.

Ефективність цієї системи визначається рівнем надійності продукції, якістю дилерської мережі та ступенем інтеграції інформаційних технологій у процес післяпродажної підтримки. Гарантія виступає не лише юридичним зобов'язанням виробника, а й стратегічним інструментом формування довіри

споживача та забезпечення довгострокової конкурентоспроможності на глобальному ринку автомобілебудування.

Гарантійне обслуговування автомобілів Honda Motor Co., Ltd. та Hyundai Motor Company сприяє підвищенню їх експлуатаційної надійності шляхом обов'язкового дотримання регламентів технічного обслуговування та використання оригінальних компонентів.

Таблиця

Порівняльний аналіз гарантійних стратегій автомобілів Honda та Hyundai

| Назва критерію                        | Марка автомобіля     |                                                |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
|                                       | Honda                | Hyundai                                        |
| Базова гарантія                       | 3 роки / 100 тис. км | 4 роки без обмеження або 5 років / 100 тис. км |
| Гарантія на лакофарбове покриття      | 3 роки               | 4–5 років                                      |
| Диференціація за вузлами              | Обмежена             | Деталізована                                   |
| Розширена гарантія на силові агрегати | Не передбачена       | Передбачена                                    |
| Переоформлення на нового власника     | Так                  | Так                                            |
| Вимога сервісної книжки               | Так                  | Так (обов'язково)                              |

Аналіз гарантійної статистики дозволяє виробникам оперативно виявляти типові відмови та впроваджувати конструктивні удосконалення. У результаті гарантійна система виступає ефективним інструментом управління надійності автомобілів.

### Список використаних джерел

1. Ружи́ло З. В., Нови́цький А. В. (2016). Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. Вип. 2. С. 223–231.

2. Aulin V. V. ta in. (2023). Optymalniy kompleks operatsii tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu dlia pidvyshchennia nadiinosti vuzliv, system ta ahrehativ mobilnykh mashyn. *Tsentrálnoukr. nauk. visn. Tekhn. nauky*. 8 (39) II. 175–189. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.175-189](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.175-189).

3. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. № 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>

УДК 331.45 (075.8)

## БЕЗПЕКА І ЗДОРОВ'Я ПРАЦІВНИКІВ, ЗАЙНЯТИХ РЕМОНТОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**Є. І. МАРЧИШИНА**, доцент, к. с. г. наук, **Є. Д. БІЛЬКО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: [marchyshyna@nubip.edu.ua](mailto:marchyshyna@nubip.edu.ua)

Безпека і здоров'я працівників, зайнятих ремонтом сільськогосподарських машин, є одним із ключових аспектів забезпечення стабільності аграрного виробництва, оскільки ефективність технічного обслуговування безпосередньо залежить від умов праці, захисту від виробничих ризиків та рівня організації охорони праці на підприємстві. Ремонтна діяльність пов'язана з широким спектром небезпечних та шкідливих факторів: механічними ризиками, впливом хімічних речовин, запиленістю, шумом, вібрацією, високими та низькими температурами, підвищеною фізичною втомою та психофізіологічним напруженням. У комплексі ці фактори створюють загрозу травмування та розвитку професійних захворювань, що вимагає системного підходу до організації безпечних умов праці.

Одним із найпоширеніших ризиків у ремонтних майстернях є контакт працівників з рухомими частинами механізмів, підйомно-транспортним обладнанням та інструментом підвищеної небезпеки. Ненадійне закріплення машин і агрегатів, неправильно підібраний інструмент або порушення технології демонтажу можуть призвести до ударів, защемлень, падінь важких деталей. Іншим значущим фактором є небезпека отруєння або подразнення шкіри та слизових оболонок у разі контакту з мастильними матеріалами, паливами, кислотами, лугами чи засобами очищення деталей. В умовах недостатньої вентиляції концентрації шкідливих речовин можуть перевищувати допустимі рівні, що негативно впливає на дихальну систему та загальний стан працівників.

Поширеною проблемою є також підвищений рівень шуму та вібрації, які виникають під час роботи компресорів, шліфувальних машин, зварювального обладнання та двигунів. Тривалий вплив таких факторів спричиняє зниження слуху, порушення роботи опорно-рухового апарату, підвищення втоми. Додаткові ризики формуються внаслідок застосування електрообладнання, що потребує особливої уваги до ізоляції проводів, заземлення, стану інструментів та дотримання правил електробезпеки, оскільки навіть незначні порушення можуть призвести до ураження струмом.

Важливою складовою безпеки є організація робочого простору. Скупчення деталей, інструментів та відходів ремонту на робочому місці часто стає причиною падінь, порізів або інших нещасних випадків. Належне освітлення також відіграє критичну роль, адже недостатня видимість під час

виконання точних операцій збільшує ризик помилок та травмування. Не менш значущим чинником є фізичне навантаження, пов'язане з переміщенням важких агрегатів чи інтенсивною ручною працею, що може сприяти розвитку захворювань хребта, м'язів та суглобів.

Запобігання професійним ризикам у сфері ремонту сільськогосподарських машин вимагає комплексного підходу, що включає технічні, організаційні та індивідуальні заходи. До технічних належать автоматизація та механізація тяжких операцій, використання підйомних пристроїв, удосконалення вентиляційних систем, регулярне технічне обслуговування обладнання та застосування безпечних технологічних процесів.

Організаційні заходи передбачають навчання та перевірку знань працівників з питань охорони праці, розроблення інструкцій, контроль за дотриманням режимів праці та відпочинку, раціональне планування робочих місць і забезпечення належного мікроклімату. Індивідуальні заходи охоплюють використання засобів індивідуального захисту — захисних рукавиць, окулярів, касок, спецодягу, респіраторів, протишумових вкладників та навушників.

Важливою передумовою зниження рівня травматизму є формування культури безпеки. Працівники повинні усвідомлювати значення дотримання правил безпеки, своєчасно повідомляти про небезпечні ситуації, а роботодавці — створювати умови для відкритого обговорення ризиків та впроваджувати заходи постійного вдосконалення. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити здоров'я та працездатність ремонтників, а й підвищити ефективність роботи підприємства, зменшити витрати на оплату лікарняних та аварійні ремонти. Таким чином, питання безпеки та охорони здоров'я працівників ремонтних майстерень є стратегічним напрямом розвитку аграрного сектору та потребує систематичної уваги, інвестицій і відповідальності з боку всіх учасників виробничого процесу.

### **Список використаних джерел**

1. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.
2. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.
3. Марчишина Є.І. Основні кроки в оцінюванні ризиків травматизму на виробництві. Збірник тез доповідей XVI Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці». К. НУБіП України. 2020 с. 105-108.
4. Voinalovych O. V., Marchyshyna Ye. I. Occupational safety and health in agriculture. К. Центр учбової літератури, 2019. 424 с.

УДК 621.791.001.12/.18

## HISTORY OF DEVELOPMENT AND TRENDS IN UNDERWATER WELDING

**Stanislav HERUK** PhD, Associate Professor, Senior Researcher  
*Zhytomyr Agrotechnical Vocational College*  
E-mail: [mega\\_sgeruk@ukr.net](mailto:mega_sgeruk@ukr.net)

### **Abstract / Main Text**

Welding is a technological process of producing permanent joints of materials by establishing interatomic bonds between the parts being joined.

Welding is an economically efficient, highly productive, and largely mechanized technological process that is widely used in almost all branches of mechanical engineering.

Depending on the form of energy used to create a welded joint, all types of welding are divided into three classes: thermal, thermomechanical, and mechanical.

### **Thermal Welding**

Thermal welding is welding in which the metal is heated to the melting point or to a plastic state by thermal energy. Thermal welding includes the following types:

- Electric arc welding – welding in which the metal is heated by an electric arc formed between the electrode and the parts being welded.
- Gas welding – welding in which the metal is heated by a gas flame formed by the combustion of a fuel gas (propane, acetylene, methane, etc.) in oxygen.
- Thermite welding – welding in which the metal is heated to melting by the energy released during the thermite reaction, a mixture of aluminum powder and iron oxide.
- Electroslag welding – welding in which the metal is heated by molten slag formed between the electrode and the welded parts.
- Plasma welding – welding in which the metal is heated by a plasma jet formed during gas discharge in an electric field.
- Electron beam welding – welding in which the metal is heated by a focused electron beam.
- Laser welding – welding in which the metal is heated by a focused laser beam.

### **Thermomechanical Welding**

Thermomechanical welding is welding in which the metal is heated to a plastic state and then joined under pressure. It includes:

- Resistance welding – heating is achieved by electric current passing through contact electrodes that compress the welded parts.
- Ultrasonic welding – heating to a plastic state is achieved by ultrasonic vibrations.



- Friction welding – heating occurs due to friction between the welded parts.

### **Cold Welding**

Cold welding is welding in which metals are joined in a solid state without heating.

### **Welding Environments**

According to the method of protecting the welding zone, welding of various metals may be carried out in the following environments:

- Air – welding without additional protection, which may lead to oxidation.
- Shielding gases – inert (argon, helium), active (carbon dioxide, oxygen), or their mixtures.
- Flux – a powdered material that forms slag and shielding gas during welding.
- Vacuum – used in specialized welding processes such as diffusion welding.
- Molten salts and alkalis – applied in diffusion welding.
- Hydrogen – used as a shielding gas in some processes.
- Physical fields (ultrasound) – ultrasonic welding uses mechanical vibrations to join materials.

The choice of welding method depends on the chemical composition and mechanical properties of the metals, their thickness, shape, dimensions, pre-treatment, and required joint strength and quality.

Welding of dissimilar metals is widely used in industry, construction, and other sectors of the economy.

### **Underwater Welding**

Underwater welding is the process of joining metals directly underwater by diver-welders using special waterproof equipment and electrodes. A stabilized arc forms a protective gas bubble that allows the weld seam to be formed. This method is used for repairing ships, offshore oil platforms, pipelines, and in dry hyperbaric chambers.

Underwater welding is a complex and hazardous operation requiring high qualifications and strict safety compliance, as water reduces arc stability, increases the risk of electric shock, and complicates work due to pressure.

### **Main Types of Underwater Welding**

- Wet welding – the welder works directly in water using special coated electrodes that do not absorb moisture. The arc creates a gas bubble that protects the weld pool.
- Dry (hyperbaric) welding – welding is performed in sealed chambers where a dry, often pressurized environment ensures higher weld quality.

### **Historical Development**

Underwater welding has been developing for over 100 years, with very slow initial progress. It differs significantly from welding on land and presents many technological challenges.

In 1802, British scientist Davy suggested that an electric arc could be formed in water. In 1880, Russian physicist V. M. Chikolev proved that an electrode arc could burn underwater. In 1917, the British Admiralty first applied wet underwater welding to repair riveted ship joints.

Early underwater electrodes had low productivity and poor weld quality. Efforts were later directed at improving technology and developing new filler materials to reduce hydrogen saturation and improve weldability.

In 1932, Professor K. K. Khrenov developed the first special underwater electrode with thick waterproof coating, significantly improving arc stability and weld formation.

During World War II, Soviet diver teams used underwater welding for cutting and repairing large submerged structures. In the second half of the 20th century, the rapid development of offshore industries significantly increased the demand for underwater welding.

### **Modern Developments**

From the 1950s onward, mechanized and semi-automatic welding methods were adapted for underwater use. Significant research was conducted at the E. O. Paton Electric Welding Institute, leading to the development of mechanized wet welding, flux-cored wires, underwater cutting technologies, and semi-automatic welding machines.

In 1996, at the Institute of Technology, Cranfield (United Kingdom), hyperbaric welding was carried out under gas pressure equal to the pressure of the surrounding water at the corresponding depth. At depths of up to 150 m, good results can be achieved using semi-automatic welding with flux-cored electrode wire and additional gas shielding. In this case, metallurgical problems are simplified; however, welding of thick-section metals is not possible [6].

The G01.09 subcommittee group “Corrosion in Natural Waters”, which is part of the American Society for Testing and Materials (ASTM), conducts research aimed at determining the corrosion resistance of high-magnesium aluminum alloys under seawater exposure. These alloys are widely used in shipbuilding [7].

Another unique achievement of the E. O. Paton Electric Welding Institute in recent years is the development of technology and equipment for automatic wet arc welding using flux-cored wire for structural elements of the lower section of a heat exchanger column.

### **References**

1. Madatov, N. M. (1967). Underwater Welding and Cutting of Metals. Leningrad: Sudostroenie Publishing House, 164 p.
2. Setffarth, P. (1983). On the current state of underwater welding. *Schweisstechnik*, 33(11), 521–522. (in German)

3. Paton, B. E., Lebedev, V. A., Maksimov, S. Yu., Pichak, V. G., & Poloskov, S. I. (2011). Improvement of equipment for underwater mechanized and automated welding and cutting using flux-cored wire. *Welding and Diagnostics*, 5, 54–59.
4. Heruk, S. M., & Sukmaniuk, O. M. (2011). *Restoration of Agricultural Machinery Parts by Welding and Surfacing: Formation and Development*. Kyiv: Monograph, 198 p.
5. Maksimov, S. (2017). E. O. Paton Electric Welding Institute activity in the field of underwater welding and cutting. *Underwater Technologies*, 6, 37–45.
6. Ellis, R. (1997). Deepwater arc welding: Arc welding research at pressures up to 100 bar. *HSB International – Holland Shipbuilding*, 46(3), 51–52.
7. Input sought for ASTM seawater exposure program. (2003). *Welding Journal*, 82(8), 1–4.
8. Gradient. (n.d.). Underwater welding. Retrieved from <https://gradient.ua/pidvodne-zvariuvannia/>
9. ZPSplav. (n.d.). Welding in the presence of water. Retrieved from <https://zpsplav.com.ua/blog/svarka-s-vodoy.html>
10. Gradient. (n.d.). Underwater welding. Retrieved from <https://gradient.ua/pidvodne-zvariuvannia/>
11. ZPSplav. (n.d.). Welding in the presence of water. Retrieved from <https://zpsplav.com.ua/blog/svarka-s-vodoy.html>
12. Kemppi. (n.d.). Welding methods. Retrieved from [https://kemppi.in.ua/articles/metody\\_zvaryvannia.htm](https://kemppi.in.ua/articles/metody_zvaryvannia.htm)

УДК 631.316.022: 621.79

## СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТІЛЧАСТИХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ

**Д. А. ДЕРЕВ'ЯНКО**, д.т.н., проф.,  
**В. А. ОТВИВІНСЬКИЙ**, здоб., **А. В. ОЛІЙНИК**, здоб.,  
**А. Ю. КРАВЧЕНКО**, здоб., **Б. Р. ТКАЧУК**, здоб.  
*Поліський національний університет, м. Житомир*  
*E-mail: dgs-ua1@ukr.net*

Проблема швидкого зношування стрілочастих лап культиваторів є важливою для ефективності ґрунтообробки. При контакті металу з піщаною та іншою абразивною сумішшю ґрунту поверхня леза піддається стиранню. Зношування частин машин (зокрема робочих органів ґрунтообробних агрегатів) є однією з основних причин їхнього виходу з ладу.

Абразивний знос – найбільш типовий для ґрунтообробного інструменту вид зносу. Під ним розуміють поступове руйнування поверхні металу під

впливом твердих зерен ґрунту, які рухаються в зоні контакту як мікро-нерівності або шліфувальний матеріал. У природних умовах основними абразивами є частки піску ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Фактором, що значно знижує абразивний знос, є підвищена твердість поверхневого шару матеріалу лапи. Якщо твердість металу наближається до твердості абразиву або перевищує її – зносостійкість суттєво зростає.

Як правило, матеріал робочої частини стрілчастої лапи вуглецева або легована сталь. Наприклад, традиційно використовуються високоміцні леговані сталі (марки 30ХГСА, 65Г, 70Г), що мають підвищений вміст кремнію, хрому, бору. Застосовуються також сталі з високою ударною в'язкістю (Spring steel 60Si2Mn), за даними виробників, їхня твердість після гартування може сягати ~50-55 HRC при ударній в'язкості близько 7–10 кДж (технічні паспорти, виробники). Леговані сталі з вмістом карбідів мають додатково включення твердих частинок W, V, Ti і т.д., що підвищують твердість поверхневого шару до 60–65 HRC і більше. Окрім того, розроблені композитні матеріали на основі залізо-карбідних та металокерамічних порошків.

Більшість сталей для лап культиваторів передбачають загартування (нагрівання до аустенітної температури приблизно 800°C і водяне чи масляне охолодження) з наступним низькотемпературним відпалом (200–350°C). Така термообробка призводить до утворення мартенситу в поверхневому шарі (поруч із бором – карбідів) зі збереженням певної пластичності у м'якшому серединному шарі. Як наслідок, твердість поверхні може становити 55–60 HRC і зносостійкість стрілчастих лап різко зростає. Наприклад, Kverneland зазначає, що борована сталь після спеціального загартування має надвисокий опір абразивному зносу і захищена від деформацій. Таким чином, загартування збільшує твердість і ймовірність утворення тріщин, відпал підвищує ударну в'язкість. Однак детальні зведені дані по конкретних сталях стрілчастих лап поширені не всюди, що вимагає проведення контролю твердості та ударної в'язкості для оцінки технології.

Цементация (карбонізація) створює товстий (кілька сотень мікрон) поверхневий шар збагаченого вуглецем металу. Наприклад, деталі з 20MnCr5 після цементації мають поверхневу твердість 60–64 HRC і більш в'язку середину. На стрілчастих лапах це може підвищити абразивну стійкість, адже найактивніша зношувана поверхня зазнає карбонізації, залишаючи серцевину міцною. Однак недолік – необхідність глибокого нагріву та збільшення часу технологічного процесу, що підвищує вартість і час виготовлення.

Плазмове або газове азотування – низькотемпературний процес (понад 500°C), що збагачує поверхню азотом, утворюючи нитриди ( $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$ ,  $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$  та ін.). Результатом є «білий шар» глибиною 50–100 мкм з дуже високою твердістю (~900–900 HV) і підвищеною зносостійкістю. З огляду на менший нагрів, азотування сприяє меншому деформуванню деталі, але сам процес складніший і дорожчий. У практиці підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин використання азотування обмежено (усе ж кращі

результати дає звичайне загартування), проте воно має перспективу для спеціалізованих деталей.

Мікроструктурно, усі наведені способи обробки збільшують частку твердої фазової кристалічної структури (мартенсит, нитриди, цементит) у поверхні, що і зумовлює падіння інтенсивності зношування. Азотування формує темний проміжний шар (Fe-N) між зовнішнім покриттям і основою сталі (рис. 1). У свою чергу, цементація формує шар перліту/сорбіту із вуглецем та залишковим аустенітом в глибині. Обидві технології доводять свою ефективність, наприклад, плазмове гартування сталі 65Г збільшує термін служби робочих органів ґрунтообробних машин в 2–3 рази (глибиною твердого шару 1–1,8 мм).

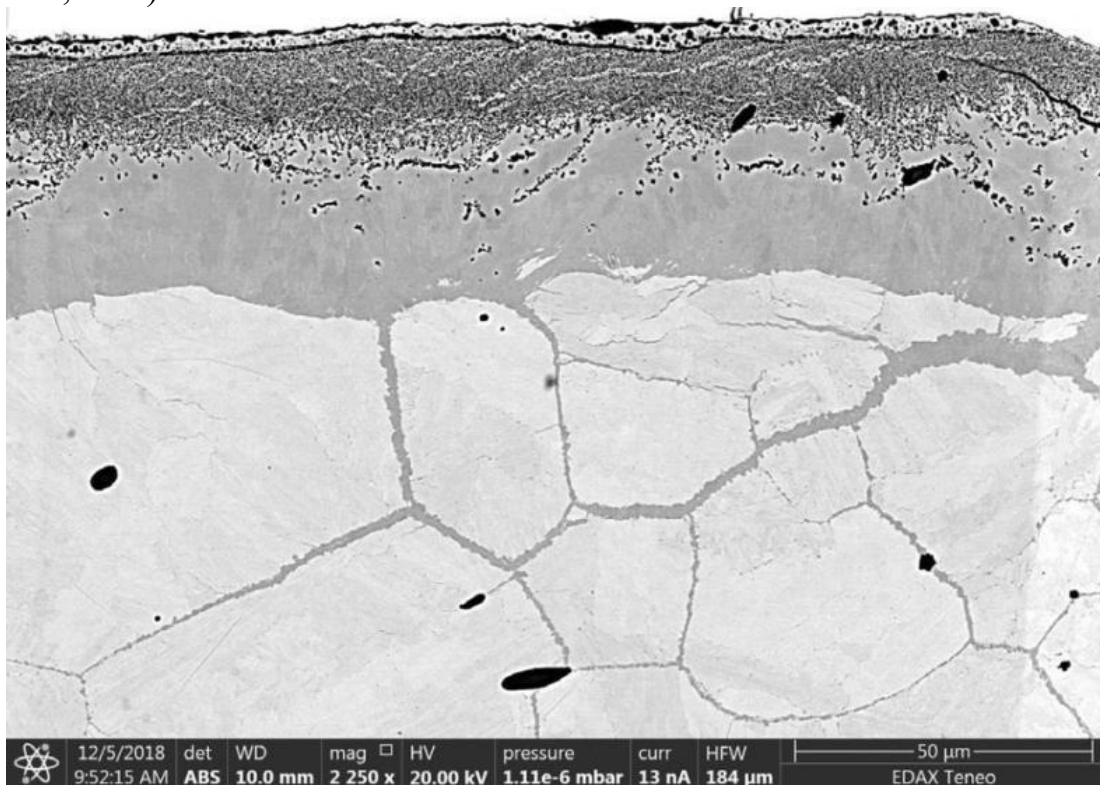


Рис. 1. Мікроструктура поверхневого шару при азотуванні сталі.

Для стрілчастих лап культиваторів поширені такі технології для підвищення їх зносотійкості:

*Наплавлення.* Нанесення шарів твердих сплавів (напр., на основі Fe-Cr-C) забезпечує товщину покриття 2–4 мм і твердість 45–60HRC. Наплавлені шари мають високу абразивну стійкість і помірний вплив на серцевину (непомірний нагрів).

*Лазерне зміцнення поверхні.* Локальне нагрівання лазерним променем (0,5–2 мм глибини) та швидке охолодження формують надтверду поверхню (до 55–60 HRC), майже не впливаючи на сталь усередині. Час впливу дуже малий, деформація сердечника мінімальна. Це дає помірне збільшення ресурсу (1,3–1,5 разу), високу точність обробки.



*Плазмове наплавлення.* Металевий порошок розпилюють плазмовою дугою, створюючи шар товщиною 2–5 мм з твердими карбідами (до 50–60 HRC). Цей метод дає значний приріст ресурсу (в 2–4 рази), але потребує спеціального обладнання. Покриття міцно зв'язане з основою, проте є ризик термічного пошкодження і спікання частинок.

#### **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 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
3. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

**UDC 005.8:504.06**

### **APPLICATION OF PM<sup>2</sup> IN ENVIRONMENTAL PROJECTS: TOOLS, CHALLENGES, AND PRACTICAL EXAMPLES**

**V. MELNYK**, PhD, Associate Professor  
*Kherson State Agrarian and Economic University,  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

The PM<sup>2</sup> methodology, developed by the European Commission, represents a contemporary project management framework that integrates the structured approach of traditional methodologies, such as PMBOK, with the flexibility of Agile principles (European Commission, 2023). PM<sup>2</sup> emphasizes transparency, stakeholder collaboration, and adaptability, making it particularly suitable for complex initiatives. In the context of environmental projects, such as ecosystem restoration, waste management, or green energy implementation, PM<sup>2</sup> provides a systematic approach to achieving sustainable development goals (United Nations, 2015). It encompasses four key phases—initiation, planning, execution, and closure – with a focus on artifacts like the Project Charter, Risk Log, and Stakeholder Matrix (European Commission, 2023).

The relevance of PM<sup>2</sup> for environmental projects is driven by global challenges, including climate change and biodiversity loss. According to the European Environment Agency, over 65% of environmental initiatives in Europe face delays due to unstructured planning and insufficient stakeholder engagement (European Environment Agency, 2024). Within the European Union, projects must

comply with stringent regulations, such as Directive 2014/52/EU on environmental impact assessment (European Union, 2019). In Ukraine, where environmental projects are often funded through EU programs like EU4Environment, PM<sup>2</sup> facilitates the integration of national legislation, such as the 2017 Law on Environmental Impact Assessment (Ministry of Environmental Protection, 2022). The objective of this paper is to demonstrate how PM<sup>2</sup> enhances the efficiency of environmental projects by minimizing risks and optimizing resources. The tasks include analyzing the theoretical foundations of PM<sup>2</sup>, reviewing practical case studies, identifying challenges, and formulating recommendations for Ukraine. The paper is structured to provide a logical progression from theory to practice, concluding with insights and future prospects. PM<sup>2</sup> is not merely a tool but a philosophy that fosters the transition to sustainable development, enabling projects to adapt to dynamic conditions such as climate change or regulatory updates.

### **Theoretical Foundations of PM<sup>2</sup> for Environmental Projects**

PM<sup>2</sup> is grounded in best practices of project management tailored to the European context (European Commission, 2023). Its core components include phases, roles, and artifacts. The initiation phase involves creating the Project Charter, a document that defines objectives, scope, and stakeholders. In environmental projects, this enables clear delineation of environmental impacts, for instance, in land reclamation projects where the Charter includes biodiversity metrics (Krajewska & Nowak, 2022). The planning phase employs the Work Breakdown Structure (WBS) to decompose tasks, the Risk Log to identify risks such as soil contamination, and the Stakeholder Matrix to analyze stakeholders ranging from local communities to regulators (European Commission, 2023).

The execution phase focuses on Monitoring & Control, utilizing tools like the Issue Log to track progress. The closure phase includes the Lessons Learned report, which enhances future projects. PM<sup>2</sup> defines clear roles: the Project Manager Coordinates activities, the Steering Committee oversees progress, and stakeholders are actively engaged through regular meetings (European Commission, 2023). This distinguishes PM<sup>2</sup> from PRINCE2, which is more bureaucratic, or pure Agile, which lacks structure for regulatory projects (PRINCE2 Foundation, 2017; Agile Alliance, 2022).

Integration with environmental standards is a key strength of PM<sup>2</sup>. It aligns with ISO 14001, which governs environmental management, enabling the application of PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycles in projects (International Organization for Standardization, 2015). Within the EU Green Deal, PM<sup>2</sup> supports circular economy objectives, such as waste management, where WBS facilitates recycling supply chain planning (European Union, 2019; Van der Meer, 2024). Technologies enhance PM<sup>2</sup>: IoT for real-time monitoring (e.g., CO<sub>2</sub> sensors in green energy projects), GIS for spatial planning and AI for risk forecasting through machine learning models (Martínez & López, 2023).

The advantages of PM<sup>2</sup> are evident: according to the European Commission, projects using PM<sup>2</sup> are completed 30% faster with fewer budget deviations (European

Commission, 2023). In environmental contexts, this translates to reduced environmental impact, with optimized resource use lowering emissions by 20–25% (Deloitte, 2023). PM<sup>2</sup>'s risk management employs the Risk Response Plan; classifying risks by likelihood and impact, with mitigation strategies (avoid, mitigate, and accept). For environmental projects, this is critical, as risks encompass not only financial but also socio-ecological factors, such as community conflicts (Project Management Institute, 2021).

Table 1. Comparison of PM<sup>2</sup> with Other Methodologies in Environmental Projects

| Methodology     | Structure | Flexibility | Stakeholder Focus | Benefits for Environmental Projects                      |
|-----------------|-----------|-------------|-------------------|----------------------------------------------------------|
| PM <sup>2</sup> | High      | Moderate    | High              | Alignment with EU standards, transparency                |
| PMBOK           | High      | Low         | Moderate          | Detailed risk management, less adaptive                  |
| Agile           | Low       | High        | High              | Fast iterations, lacks structure for regulatory projects |
| PRINCE2         | High      | Low         | Moderate          | Strict control, bureaucratic for dynamic ecosystems      |

### Practical Application of PM<sup>2</sup> in Environmental Projects

Practical experience demonstrates PM<sup>2</sup>'s effectiveness in real-world projects. Three case studies are presented below.

#### Case Study 1: Land Reclamation in Poland

A reclamation project for post-mining areas in Silesia (2018–2022) utilized PM<sup>2</sup> to restore 500 hectares of land (Krajewska & Nowak, 2022). During the initiation phase, the Project Charter outlined objectives: reducing heavy metal contamination by 70% and implementing reforestation. The Stakeholder Matrix identified key players—local communities, the Ministry of Ecology, and NGOs. Planning involved WBS for stages (soil analysis, bioremediation, monitoring) and a Risk Log addressing risks like weather delays, with mitigation plans (contingency budgets) (European Commission, 2023). Execution used IoT sensors for real-time monitoring. The project was completed 15% under budget, with a 40% increase in floral species diversity (Krajewska & Nowak, 2022). This is relevant for Ukraine's Donbas region, where PM<sup>2</sup> could coordinate post-conflict reclamation.

#### Case Study 2: Green Energy in Spain

A solar farm project in Andalusia (2020–2023) applied PM<sup>2</sup> to install 100 MW of capacity (Martínez & López, 2023). Initiation involved a Charter targeting an 80,000-tonne annual CO<sub>2</sub> reduction. The Stakeholder Matrix ensured collaboration

with local farmers and regulators. Planning used WBS for infrastructure (panels, grids) and a Change Management Plan to adapt to updates in the EU Renewable Energy Directive (European Union, 2019). Risks (supply chain, weather) were managed via the Risk Log. Execution included weekly reports and AI for energy output forecasting. The project launched six months ahead of schedule, achieving a 150% ROI (Martínez & López, 2023). In Ukraine, PM<sup>2</sup> is applicable to solar farms in the Chernobyl Exclusion Zone, where regulatory risks are significant.

### **Case Study 3: Waste Management in the Netherlands**

A circular economy project in Rotterdam (2019–2024) used PM<sup>2</sup> for plastic waste recycling (Van der Meer, 2024). Initiation involved a Charter aiming to reduce waste by 70%. The Stakeholder Matrix engaged businesses and municipalities. Planning included WBS for logistics and a Decision Log for rapid decisions (e.g., supplier changes). Monitoring & Control utilized IoT for waste tracking (European Commission, 2023). The project reduced plastic waste by 60% and saved €1.5 million (Van der Meer, 2024). In Ukraine, PM<sup>2</sup> could optimize waste sorting pilots in Kyiv or Lviv.

**Challenges:** Lack of PM<sup>2</sup> expertise, stakeholder resistance, and technological barriers. **Solutions:** Training programs, EU partnerships (e.g., Horizon Europe, 2024).

### **Recommendations for Implementing PM<sup>2</sup> in Ukraine and Global Perspectives**

Adapting PM<sup>2</sup> in Ukraine requires alignment with national regulations. The 2017 Law on Environmental Impact Assessment can be enhanced with PM<sup>2</sup> artifacts like the Risk Log for EIA processes (Ministry of Environmental Protection, 2022). Recommendations include developing a national guideline through the Ministry of Environmental Protection using EC PM<sup>2</sup> templates (European Commission, 2023). Training programs, in collaboration with EU4Environment, should certify project managers. Budget allocation of 5–10% of project costs for PM<sup>2</sup> implementation is expected to yield returns within one year (Deloitte, 2023).

Stakeholder engagement via the Stakeholder Matrix can coordinate government, NGOs (e.g., Environment-People-Law), and businesses. In the Carpathians, PM<sup>2</sup> could manage forest restoration projects.

Globally, PM<sup>2</sup> is becoming a standard for Horizon Europe, targeting climate-neutral cities by 2030 (Horizon Europe, 2024). McKinsey predicts that PM<sup>2</sup>-like methodologies will attract \$2 trillion in green project investments by 2030 (McKinsey & Company, 2025). Ukraine's potential includes reducing project delays by 25% and attracting €500 million in EU funding for green energy and waste management (Ministry of Environmental Protection, 2022).

### **Conclusions**

PM<sup>2</sup> transforms environmental projects by ensuring structure, transparency, and sustainability. It minimizes risks, optimizes resources, and engages stakeholders, contributing to the Sustainable Development Goals (United Nations, 2015). Its

benefits include compliance with regulations, economic efficiency, and reduced environmental impact (European Union, 2019). Future prospects involve integrating PM<sup>2</sup> into Ukraine's national strategies and exploring AI synergies (McKinsey & Company, 2025).

### References

1. European Commission. (2023). *PM<sup>2</sup> Project Management Methodology Guide (Version 3.1)*. Publications Office of the European Union.
2. European Environment Agency. (2024). *Environmental project implementation in Europe: Challenges and statistics*. EEA Report No. 15/2024.
3. Horizon Europe. (2024). *Funding for climate-neutral projects*. European Commission.
4. International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 Environmental management systems*. ISO.
5. Krajewska, A., & Nowak, M. (2022). Reclamation of post-mining areas in Silesia: A case study. *Journal of Environmental Management*, 310, 114789. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114789>
6. Martínez, J., & López, R. (2023). Solar farm development in Andalusia using PM<sup>2</sup>. *Renewable Energy*, 215, 118945. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118945>
7. McKinsey & Company. (2025). *Global green investments: Trends to 2030*. McKinsey Sustainability Insights.
8. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2022). *Low-carbon development strategy of Ukraine until 2050*. Kyiv: Ministry of Environmental Protection.
9. European Union. (2019). *The European Green Deal*. COM (2019) 640 final.
10. Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.)*. PMI.
11. PRINCE2 Foundation. (2017). *Managing Successful Projects with PRINCE2*. AXELOS.
12. Agile Alliance. (2022). *Agile Manifesto and Principles*. Agile Alliance.
13. United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
14. Van der Meer, L. (2024). Circular economy in waste management: Rotterdam project. *Waste Management*, 178, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.01.012>
15. Deloitte. (2023). *Project management methodologies in sustainability initiatives*. Deloitte Insights.



УДК 621.717:631.3

## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗНІМАЧІВ ПІДШИПНИКІВ ІЗ ФІКСАЦІЄЮ ЛАП ЗАХОПЛЮВАЧІВ

**В. І. РИС** к.т.н., доцент, **А. О. ШАРИБУРА** к.т.н., доцент,

**В. Є. ЧУХРАЙ** к.т.н., доцент,

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та  
біотехнологій ім. С.З. Гжицького*

*E-mail: rysvasyl@gmail.com*

Основною вимогою для операцій демонтажу і монтажу пресових з'єднань є збереження деталей у непошкоджені стані, тобто недопущення їх деформації та руйнування в процесі монтажу або демонтажу. Цю умову можна задовольнити, знаючи допустимі напруження, які можуть виникати в деталях вузлів, що розбираються та в деталях пристроїв, що використовують під час операцій демонтажу або монтажу. На сьогоднішній час відомо дуже багато конструкцій пристроїв для розбирання деталей вузлів машин з'єднаних з натягом. Кожна конструкція, як правило має свою галузь застосування, певні переваги та недоліки.

Звичайно, що беззаперечною вимогою до знімачів є безпечність та зручність їх використання.

Однією з проблем під час використання універсальних знімачів є те, що лапи мають можливість самовільно розходитись на певну величину і при цьому можуть зіскакувати з захопленої деталі.

Слід також зазначити, що важливою проблемою ремонтного виробництва є скорочення тривалості виконання операцій під час розбирання машин та їх вузлів. Тому скоротити час виконання операцій розбирання можна за рахунок вдосконалення конструкцій знімачів, зокрема забезпечуючи їх надійну фіксацію на захопленій деталі.

Крім того зверталася увага на геометричні параметричні ряди підшипників з метою визначення діапазонів налагоджування знімачів на конкретний типорозмір деталей.

Нами досліджувались технологічні процеси демонтажу кулькових підшипників з валів з метою виявлення основних факторів, які впливають на тривалість операцій демонтажу. Операції демонтажу підшипників можна розділити на дві категорії, до однієї з яких відносимо демонтаж непридатних для подальшого використання підшипників, а до другої - демонтаж підшипників з метою забезпечення доступу і можливості виконання операції з заміни інших деталей і повторного використання демонтованого підшипника. Операції першої категорії можна виконувати не зважаючи на те, що підшипник який демонтується буде пошкодженим, тобто його можна захоплювати за зовнішнє кільце і через тіла кочення передавати зусилля на внутрішнє кільце, яке буде

демонтуватися з вала. В такому випадку, звичайно, допускається деформація бігових доріжок внутрішнього і зовнішнього кільця і деформація тіл кочення. При виконанні операцій другої категорії, тобто коли підшипник буде використовуватися повторно, пошкодження жодних його елементів не допускається. Таку вимогу можна забезпечити якщо підшипник буде демонтуватися прикладаючи зусилля до його внутрішнього кільця. Так як торець внутрішнього кільця підшипника має незначну площу, то особливою вимогою буде надійна фіксація лап захоплювача на його торці.

В процесі досліджень було виявлено, що майже в 20% випадків використання універсальних знімачів захоплюючі елементи лап зіскакували з торця внутрішнього кільця і знімач потрібно було повторно встановлювати для захоплення. Особливо характерним зіскакування лап є під час встановлення гвинтів або штоків знімачів на торець валів, що не мають технологічних центрів.

Крім того характерною ознакою універсальних знімачів є те, що кінець захоплюючих частин лап звужується, а отже пляма контакту з торцем внутрішнього кільця є мінімальною.

Ця задача ускладнюється у тих випадках коли підшипник встановлений на ступінчатих валах, що обмежує площу можливого контакту лап знімачів з торцем внутрішнього кільця підшипника.

Отже, конструкція знімача повинна бути такою, щоб в процесі демонтажу лапи знімача чітко фіксувалися від радіального переміщення.

Крім того велике значення має конфігурація захоплюючої частини лапи знімача з торцем внутрішнього кільця, тобто площа плями контакту між захоплюючою частиною лапи і торцем внутрішнього кільця повинна бути такою щоб не допустити деформації або пошкодження кільця і лапи знімача. На підставі викладеного можна сказати, що ефективність процесу демонтажу підшипників з валів залежить від особливостей конструкції знімача, який використовується для виконання даної операції.

З метою збереження підшипника в непошкодженному стані, тобто уникнення прикладання зусилля до зовнішнього кільця, потрібно забезпечити наступну умову (рис 1):

$$K \geq \frac{D - d}{2}$$

де K-величина захоплюючої частини лапи;

D- зовнішній діаметр зовнішнього кільця підшипника, мм;

d - внутрішній діаметр внутрішнього кільця підшипника, мм.

Потрібно також врахувати те, що в процесі демонтажу, з врахуванням можливості деформування лапи, повинен зберігатися певний зазор  $S$  між захоплювачем лапи і торцем підшипника.

Частково дані задачі вирішуються у відомих конструкціях знімачів[1]

Під час досліджень основна увага приділялася збільшенню ефективності процесів демонтажу і монтажу підшипникових з'єднань, поліпшенню умов

праці, зниженню металоємкості конструкцій і розширення їх функціональних можливостей [1-7].

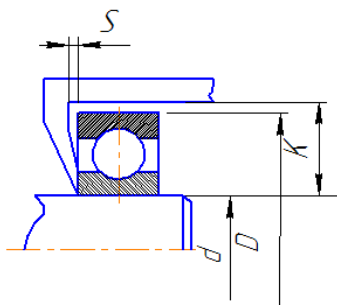


Рис. 1. Схема визначення геометричних параметрів лапи для демонтажу підшипників.

Були також проаналізовані конструкції спеціальних знімачів призначених для демонтажу деталей конкретної номенклатури [1-5]. Спеціальні знімачі відповідають як правило вимогам стосовно не пошкодження деталей, мають високу ефективність але при цьому мають дуже вузьке застосування [1-5].

Провівши аналіз основних конструкцій знімачів, визначивши їх основні переваги і недоліки, ми прийшли до висновку, що для успішного ефективного розбирання підшипникових вузлів під час ремонту техніки потрібно використовувати знімачі, які дають можливість швидко перелаштовуватися на потрібний типорозмір, надійно фіксувати лапи на захопленій деталі і створювати належну площу контакту деталі з захоплювачами лап.

Отже основна увага нами приділена кінематичним схемам радіального переміщення і їх фіксації в положенні захопленої деталі.

Проведені нами дослідження вказують на те, що геометричні параметри знімачів кожної запропонованої конструкції повинні бути узгодженими з геометричними параметрами всієї номенклатури підшипників які будуть замінюватися за їх допомогою і при потребі мати свій параметричний ряд і змінні елементи конструкції

Розглянуті конструкції знімачів створюють зручність їх використання і дають змогу зменшити тривалість процесу демонтажу деталей на 10...20%.

### Список використаних джерел

1. Чухрай В. Є., Рис В. І. Знімач для демонтажу деталей встановлених з натягом на вал. Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог наукових розробок / під ред. В. В. Снітинського, Г. В. Черевка. Львів: ЛНАУ, 2008. Вип. 8. С. 146–147.

2. Чухрай В. Є., Рис В. І. Знімач з керованими захоплювачами. Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок / за заг. ред. В. В. Снітинського, В.І. Лопушняка. Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2018. Вип. 18. 39 с.

3. Чухрай В. Є., Рис В. І. Обґрунтування параметрів обладнання для заміни підшипників вантажних автомобілів. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2003. № 7. С. 236–246.

4. Чухрай В., Рис В. Аналіз обладнання для розбирання підшипникових вузлів. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2004. № 8. С. 348–357.

5. Чухрай В.Є., Рис В.І., Білань О.В., Юхимчук О.В. Шура М.Б. Обґрунтування принципових схем конструкцій знімачів для розбирання підшипникових вузлів. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2012. с.330 – 339.

6. Чухрай В. Є., Рис В. І., Ніщенко І. О. Визначення впливу геометричних параметрів деталей підшипникових вузлів на режими процесів розбирання та складання. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2005. № 9. С. 364–371.

7. Обґрунтування принципових схем конструкцій знімачів для розбирання підшипникових вузлів / В. Є. Чухрай та ін. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2012. № 16. С. 330–339.

**УДК 631.3:62-192:629.7**

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШИНАМИ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОПІДПРИЄМСТВ**

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доц., **А.З.РУЖИЛО** аспірант  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: [Novytskyy@nubip.edu.ua](mailto:Novytskyy@nubip.edu.ua), [a.ruzhilo90@gmail.com](mailto:a.ruzhilo90@gmail.com)*

Ефективність роботи автотранспортного підприємства значною мірою залежить від технічного стану рухомого складу. Важливою складовою надійної роботи автомобільних засобів є автомобільні шини. Їх стан безпосередньо впливає на безпеку руху, на витрати пального, керованість транспортного засобу і як результат у значній мірі залежить собівартість перевезень. Тому своєчасна та правильна організація забезпечення шинами є одним із ключових напрямів матеріально-технічного забезпечення автопідприємства.

Організація забезпечення шинами базується на принципі плановості. Підприємство складає річні та квартальні плани потреби в шинах з урахуванням:

- кількості та типів транспортних засобів;
- середньорічного пробігу;
- встановлених нормативів ресурсу шин;

- умов експлуатації (міські, міжміські, кар'єрні перевезення тощо).

Планування дозволяє своєчасно формувати замовлення постачальникам і уникати простоїв транспорту через відсутність шин.

На автотранспортних підприємствах ведеться індивідуальний облік шин. Для цього оформлюється картка обліку, де зазначаються дата та місце встановлення (вісь, сторона) на транспортний засіб, пробіг шини, характер та час пошкодження, проведені ремонтні роботи з усунення пошкодження та сезонні перестановки та відновлення.

Систематичний контроль дозволяє порівнювати фактичний пробіг із нормативним, аналізувати причини передчасного зносу та приймати управлінські рішення щодо покращення експлуатації.

Важливою складовою організації забезпечення рухомого складу шинами є раціональне їх використання, що полягає у правильному монтажу і демонтажу шин відповідно технічним вимогам, своєчасну перестановку шин між осями для запобігання нерівномірному зносу. Важливим є систематична перевірка та підтримання нормативного тиску повітря в шині. Прискорений знос шин обумовлюється і технічним станом ходової частини (розвал-сходження, балансування коліс, тощо), який теж необхідно системно контролювати та при необхідності своєчасно усувати відхилення. Недотримання цих вимог призводить до нерівномірного зносу, зменшення ресурсу та підвищення експлуатаційних витрат.

Важливою складовою організації є своєчасне технічне обслуговування шин. Правильно організований ремонт і відновлення дозволяють збільшити загальний ресурс використання шин і зменшити витрати підприємства.

Для безперебійної роботи підприємства створюється оборотний фонд шин і страховий запас. При цьому важливо забезпечити належні умови зберігання шин. Це правильне розміщення на стелажах, дотримання температурного режиму, захист від прямого сонячного випромінювання. Раціональна організація складу запобігає передчасному старінню гуми та втраті експлуатаційних властивостей.

### **Висновки**

Організація забезпечення шинами рухомого складу є комплексним процесом, що поєднує планування, облік, контроль, технічне обслуговування та економічний аналіз. Раціонально побудована система забезпечення сприяє підвищенню безпеки руху, зниженню експлуатаційних витрат і забезпеченню стабільної роботи автотранспортного підприємства.

### **Список використаних джерел**

1. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12 (2), 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.

2. Новицький А.В., Ружило З.В., Бистрий О.М., Банний О.О., Сиволапов В.А. Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення



надійності машин та обладнання навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.

3. Аналіз обладнання для проведення шиномонтажних робіт / З.В. Ружилю, А.Ю. Рябоштан, Н.А. Гладун // Збірник тез доповідей VI Міжнародної наукової конференції «Екобіотехнології та біопалива в АПК – Energia 2012» (27 вересня – 03 жовтня 2012 року) – К., 2012. – С. 56-86.

4. Кравченко А.П., Сахно О.П. До питання аналізу надійності автомобільних шин // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – №6 (148). – С. 218 – 222

УДК 631.3 / 631.3.075

### **ВПЛИВ МАЙСТЕРНОСТІ ОПЕРАТОРА КЕРУВАТИ МАШИННО-ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ НА ЙОГО ПРОДУКТИВНІСТЬ**

**П. С. ПОПИК, к.т.н., доц.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Ефективність використання машинно-тракторних агрегатів у сільськогосподарському виробництві визначається не лише технічним рівнем машин, а й людським фактором - рівнем професійної підготовки та майстерності оператора. Навіть за однакових конструктивних характеристик техніки, продуктивність агрегату, якість виконання робіт і витрати палива можуть істотно відрізнятися залежно від уміння механізатора керувати машиною, правильно налаштовувати її та адаптувати режими роботи до конкретних умов поля.

Майстерність оператора машинно-тракторного агрегату проявляється у здатності раціонально вибирати швидкісні та тягові режими, підтримувати оптимальні оберти двигуна, правильно використовувати трансмісію та гідросистему, а також своєчасно реагувати на зміну умов роботи. Досвідчений оператор забезпечує стабільний робочий режим агрегату, зменшуючи перевантаження вузлів і механізмів, що позитивно впливає не лише на продуктивність, а й на надійність і довговічність техніки.

Одним із ключових аспектів впливу майстерності оператора є раціональне використання потужності трактора. Недостатня або надмірна швидкість руху призводить до зниження продуктивності, підвищення буксування рушіїв і перевитрат палива. Кваліфікований механізатор уміє підтримувати такий режим роботи, за якого тягове зусилля максимально наближене до оптимального, а агрегат працює з найвищою віддачею за мінімальних енергетичних витрат.

Значну роль відіграє правильне налаштування та регулювання робочих органів сільськогосподарських машин. Глибина обробітку, ширина захвату, рівномірність подачі матеріалу або стабільність положення робочих органів безпосередньо залежать від дій оператора. Помилки під час налаштування призводять до зниження якості виконання технологічних операцій, необхідності повторних проходів і, як наслідок, до зменшення змінної та сезонної продуктивності агрегату.

Майстерність оператора особливо важлива в умовах змінного рельєфу та неоднорідності ґрунтів. Уміння своєчасно коригувати режими роботи, враховувати вологість, щільність і структуру ґрунту дозволяє уникнути перевантажень, зменшити зношування деталей і підтримувати стабільну продуктивність протягом усього робочого дня. Недосвідчений оператор, навпаки, часто працює за однаковими режимами незалежно від умов, що негативно позначається на ефективності агрегату.

Важливим чинником є також уміння користуватися сучасними системами керування та контролю. Сучасні трактори і машини оснащуються електронними системами моніторингу, автоматичного регулювання та навігації. Оператор, який володіє навичками роботи з такими системами, може значно підвищити точність виконання операцій, зменшити перекриття проходів, оптимізувати маршрути руху та скоротити непродуктивні витрати часу. Це безпосередньо відображається на зростанні продуктивності та зниженні собівартості робіт.

Не менш важливим є вплив майстерності оператора на технічний стан агрегату. Своєчасне виявлення відхилень у роботі двигуна, трансмісії чи робочих органів, дотримання правил пуску та зупинки, коректна експлуатація гідравлічних систем дозволяють зменшити кількість відмов і простоїв. Зниження простоїв у свою чергу сприяє підвищенню ефективного фонду робочого часу та загальної продуктивності машинно-тракторного агрегату.

Таким чином, майстерність оператора є одним із вирішальних факторів, що визначають рівень продуктивності машинно-тракторного агрегату. Підвищення професійної підготовки механізаторів, удосконалення систем навчання та практичної підготовки, а також розвиток навичок роботи з сучасними технічними засобами керування створюють передумови для більш повного використання потенціалу сільськогосподарської техніки, зниження експлуатаційних витрат і підвищення ефективності аграрного виробництва загалом.

### **Список використаних джерел**

1. Попик П.С., Топчій С.І. Системи подачі палива сучасних дизельних двигунів» Ніжин.: Відокремлений структурний підрозділ «Ніжинський фаховий коледж НУБіП України», 2021 р. - 205 с.
2. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery & Energetics*, 12 (2), 39-47.

3. Топчій С.І., Кириченко О.М., Попик П.С. Двигуни ММЗ. Навчальний посібник.— Ніжин, 2022 р. - 238 с.

4. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskiy, I., Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), 47-57.

**УДК 631.3:62-192:629.7**

## **ДОСВІД ПЕДАГОГІЧНОЇ РОБОТИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ АСПІРАНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ В НУБІП УКРАЇНИ**

**І.Л. РОГОВСЬКИЙ**, д.т.н., проф., **З.В. РУЖИЛО**, к.т.н., доц., **О.В.ВЕЛЬГАС**,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: rogovskii@nubip.edu.ua, ruzhylo@nubip.edu.ua, nubip\_h5@ukr.net*

Аспірантура НУБіП України це форма підготовки науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації. Вона функціонує з 1954 року, а освітній процес здійснюється за очною або за заочною формою навчання. Підготовка аспірантів спрямована на глибоке вивчення спеціальності, наукових методів та педагогічної майстерності. Вона поєднує наукову, освітню та педагогічну складові, що відповідає вимогам третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти. Підготовка аспірантів інженерних спеціальностей здійснюється відповідно до освітньо-наукових програм за інженерними спеціальностями (13 «Механічна інженерія», 14 «Електрична інженерія», 19 «Архітектура та будівництво» тощо).

Підготовка аспірантів інженерних спеціальностей має низку особливостей. Це насамперед поєднання теоретичного матеріалу з лабораторними дослідженнями, використання сучасного програмного забезпечення (CAD/CAE-системи, моделювання, цифрові технології), робота з технічним обладнанням. Важливим є навчання дослідників методам інженерного аналізу та проектування, впровадження результатів власних дисертаційних досліджень у навчальний процес. Аспірант виступає не лише дослідником, а й провідником інновацій у навчанні.

Обов'язковою складовою підготовки аспірантів є педагогічна практика. Вона особливо важлива для тих аспірантів, хто планує у майбутньому викладацьку діяльність у вищій школі.

Проводиться педагогічна практика на базі університетських кафедр і включає:

- участь у проведенні лекцій, семінарів і практичних занять;
- розробку навчально-методичних матеріалів;

- ознайомлення з сучасними методами організації навчального процесу.

Педагогічна практика сприяє формуванню педагогічних компетентностей. В результаті підготовки формуються такі компетентності як здатність планувати та проводити навчальні заняття, уміння застосовувати інтерактивні та проблемно-орієнтовані методи навчання, використання цифрових освітніх платформ, здатність оцінювати результати навчання. Актуальними є навички академічної комунікації та дотримання принципів академічної доброчесності.

Для інженерних спеціальностей педагогічний досвід має свої особливості пов'язані з комбінуванням технічної експертизи та навичок викладання, участю у лабораторно-практичних заняттях. Він передбачає розробку науково-методичних матеріалів, що поєднують теорію і практику та активне залучення до дослідницької роботи під керівництвом викладачів та науковців. Така діяльність формує фахівців, здатних не лише проводити дослідження, але й ефективно передавати знання.

Важливим елементом формування педагогічної підготовки аспіранта є роль наукового керівника. Він консультує аспіранта щодо методики викладання, здійснює контроль проведених занять, допомагає інтегрувати результати досліджень у навчальні дисципліни, формує професійну педагогічну культуру майбутнього викладача. Це створює основу наставництва, підсилює інтеграцію наукової та педагогічної діяльності. Формує набуття педагогічних компетентностей таких як уміння критично та творчо застосовувати набуті знання у майбутній педагогічній діяльності, здатність до розробки і викладання дисциплін у професійній сфері та в цілому до науково-педагогічної діяльності у вищій освіті.

Педагогічна практика дозволяє набути досвіду реальної роботи у вищій школі, сформуванню власний стиль викладання, поєднати інженерну наукову діяльність із педагогічною та підготувати конкурентоспроможного науково-педагогічного працівника.

### **Висновок**

Досвід підготовки аспірантів інженерних спеціальностей у НУБіП України базується на принципах інтеграції науки й освіти, практико-орієнтованого навчання та наставництва. Педагогічна складова є важливим елементом формування сучасного інженера-дослідника, здатного здійснювати наукову та викладацьку діяльність у закладах вищої освіти.

### **Список використаних джерел**

1. Відомості про аспірантуру НУБіП України (офіційний сайт).
2. V. Bulgakov, I. Holovach, Z. Ruzhilo, O. Trokhaniak, M. Budzanivskyi Development of a method for carrying out a multi-factory experiment on cleaning root crops from soil and vegetable impurities VIII International Scientific Conference "Conserving Soils and Water 2023" 06-09.09.2023, Varna, Bulgaria, Scientific technical union of mechanical engineering "INDUSTRY 4.0".

3. Новицький А.В., ло З.В. Карабиньош С.С., Банний О.О. Організація сервісного виробництва. Навчальний посібник. К.: Прінтеко, 2021. – 279 с.

4 Методичні вказівки щодо педагогічної (асистентської) практики аспірантів НУБіП.

**УДК 631.3:62-192:629.7**

## **ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСТА КИЄВА**

**Д. Ю. КАЛІНІЧЕНКО, к.т.н.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: Novytskyu@nubip.edu.ua, a.ruzhilo90@gmail.com*

Місто Київ – сучасне європейське місто, столиця України, політичний, економічний і культурний центр України з функціями адміністративного, освітнього, наукового та ділового осередку, найбільше місто країни за чисельністю населення. Розвиток таких міст суттєво залежить від транспортного забезпечення, яке визначає структуру міста, забезпечує щоденну мобільність мешканців, дає доступ населенню до роботи, освіти, медицини, адміністративних послуг, зменшує соціальну ізоляцію віддалених районів. Розвиток транспортної інфраструктури міста забезпечує функціонування підприємств і бізнесу, сприяє розвитку торгівлі та логістики, підтримує зайнятість населення, формує інвестиційну привабливість столиці.

Історія розвитку транспортного забезпечення міста Києва - це відображення його зростання від середньовічного торгового центру до сучасної європейської столиці.

У давні часи Київ був важливим пунктом на торговельному шляху «із варяг у греки», а головною транспортною артерією була річка Дніпро. Тому транспортними засобами на той час виступали човни, а з XIX ст. – баржі та пароплави. В самому місті основним міським транспортом був гужовий транспорт - вози та кінні екіпажі. У XIX ст. з'явилися омнібуси (кінні карети для перевезення пасажирів).

У кінці XIX — початку XX ст. к Києві з'являється міський громадський транспорт. Початком регулярного міського пасажирського транспорту стає кінний трамвай, який з'явився у 1891 році, а вже у 1892 році в Києві відкрито першу в Російській імперії лінію електричного трамвая. Лінія проходила від Подолу до Олександрівського узвозу (нині Володимирський узвіз). Через складний рельєф міста електрична тяга була значно ефективнішою за кінну. Київ став одним із перших міст Європи з електричним трамваєм.



Трамвай у Києві у першій половині XX сторіччя стає основним видом транспорту. Йде активне розширення маршрутів.

Разом з тим розвивається і автобусний транспорт, який забезпечує сполучення з новими віддаленими від центра житловими масивами.

У 1935 році у місті відкрито перший тролейбусний маршрут. Тролейбусна мережа активно розширюється, особливо після другої світової війни.

6 листопада 1960 року у місті Києві відкрито першу лінію метро. Київський метрополітен дуже швидко стає основою міських перевезень. Йде активне відкриття нових станцій на Сирецько-Печерській та інших лініях, розширення у напрямку житлових масивів (Троєщина, Теремки). У середньому метрополітен перевозить 1,3–1,5 млн пасажирів на добу, а в час війни підземні станції метро використовуються як укриття.

З 2011 року метрополітен інтегрується з іншими видами транспорту, зокрема проходить запуск кільцевого маршруту міської електрички.

На сьогодні транспортна система Києва включає 3 лінії метро з понад 50 станціями, трамваї, тролейбуси, автобуси, маршрутні таксі, міську електричку, річковий транспорт і активно розвивається. Проводиться закупівля сучасних низькопідлогових трамваїв і тролейбусів. Для зручності пасажирів запроваджується електронний квиток.

Основними проблемами функціонування транспорту у місті є перевантаження доріг і як наслідок затори, необхідність розвитку екологічного транспорту, потреба в оновленні інфраструктури, зокрема створення нових транспортних розв'язок і мостів.

### **Висновки**

Розвиток транспортної системи Києва відображає економічні та соціальні зміни в історії міста. Від річкових шляхів Київської Русі до сучасного метрополітену — транспорт завжди був ключовим чинником формування міського простору та якості життя мешканців столиці.

### **Список використаних джерел**

1. Беляєв, І. М. Історія київського міського транспорту. – Київ: Наукова думка, 2010.
2. Дмитрук, О. Ю. Транспортна інфраструктура Києва: історія та сучасність. – Київ: Логос, 2015.
3. Ковалинський, В. В. Київські мініатюри. Книга про історію міста. – Київ: Купола, 2003.
4. Офіційний сайт Київський метрополітен. – Режим доступу: <https://metro.kyiv.ua>
5. Офіційний портал Київська міська державна адміністрація. – Режим доступу: <https://kyivcity.gov.ua>
6. Статистичний щорічник міста Києва. – Київ: Головне управління статистики у м. Києві (різні роки).

УДК 667.613.2:631.3

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ

**В. Г. РУДЕНКО**, завідувач відділення,.

**О. П. МЕЛЬНИК**, викл.

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*

**Н. М. ЗУБАЧИК**, здоб.,

**Д. І. ІЩУК**, здоб.,

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*

*E-mail: super\_rudenkovtaljj@ukr.net*

Інтенсифікація землеробства, зростання питомих навантажень на агрегати та робота в умовах агресивного абразивного середовища зумовлюють прискорене зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Лемеші, лапи культиваторів, дискові ножі та долота функціонують в умовах одночасної дії абразивного зносу, ударних навантажень і корозійних процесів. Втрата геометрії ріжучих кромek призводить до зниження якості обробітку ґрунту, підвищення енергоспоживання та збільшення експлуатаційних витрат [1]. За даними експлуатаційних спостережень, протягом першого року роботи може виходити з ладу до 30–40 % змінних робочих органів, що підтверджує актуальність підвищення їх довговічності [3].

Серійне виготовлення ґрунтообробних деталей в Україні здійснюється переважно зі сталей типу 65Г та аналогічних марок середньовуглецевих конструкційних сталей [2]. У світовій практиці для виготовлення робочих органів ґрунтообробної техніки широко застосовують борвмісні та зносостійкі сталі типу 30MnB5, 38MnB5, Hardox, а також мікролеговані сплави з підвищеною прокалістю та ударною в'язкістю [4]. Крім того, провідні виробники активно використовують технології заводського диференційованого зміцнення, термомеханічної обробки та наплавлення твєрдосплавних композицій, що дозволяє суттєво підвищити ресурс деталей у абразивному середовищі. У загартованому стані вони забезпечують твердість 37–43 HRC та задовільну пластичність, однак не мають достатньої зносостійкості в умовах інтенсивного абразивного навантаження. У зв'язку з цим у світовій і вітчизняній практиці активно застосовуються різні методи поверхневого зміцнення.

До найбільш поширених технологій належать хіміко-термічна обробка (цементация, азотування, борування), термічна та індукційна обробка, лазерне й плазмове легування, іонно-плазмові покриття, електроерозійне зміцнення, газотермічне напилення, а також різні способи наплавлення зносостійких матеріалів. Хіміко-термічні методи забезпечують формування твердого

дифузійного шару з високою мікротвердістю, однак потребують тривалого циклу обробки, складного обладнання та обмежені глибиною зміцнення. Лазерна та плазмова обробка дозволяють локально модифікувати структуру поверхні з мінімальною зоною термічного впливу, проте характеризуються високою вартістю обладнання і значними енергетичними витратами, що обмежує їх застосування у ремонтних умовах більшості агропідприємств.

Іонно-плазмові та вакуумні покриття формують тонкі шари з високою твердістю і корозійною стійкістю, але їх товщина зазвичай не перевищує десятків мікрметрів, що є недостатнім для деталей, які працюють в умовах інтенсивного абразивного стирання. Електроерозійне зміцнення забезпечує можливість локального нанесення твердих фаз та керування структурою поверхневого шару, однак характеризується низькою продуктивністю та доцільне переважно для невеликих за площею ділянок.

На відміну від зазначених методів, електродугове наплавлення поєднує технологічну простоту, відносно низьку вартість та можливість формування шару значної товщини (2–6 мм і більше) з регульованим хімічним складом і структурою. Використання порошкових дротів, легованих електродів та композиційних матеріалів дозволяє формувати зносостійкі шари з карбідними або боридними включеннями, що суттєво підвищують опір абразивному зношуванню. При цьому основний метал деталі виконує роль міцної та в'язкої основи, а наплавлений шар – функцію робочої зносостійкої поверхні.

Світовий досвід експлуатації сільськогосподарської техніки свідчить про ефективність наплавлення для відновлення і зміцнення лемешів, доліт та ножів. В українських умовах цей метод має додаткову перевагу – доступність обладнання (традиційні зварювальні джерела живлення), можливість виконання робіт у ремонтних майстернях господарств та на машинобудівних підприємствах без значних капіталовкладень. Технологія не потребує вакуумних систем або високоточних лазерних комплексів, що особливо важливо в умовах обмежених ресурсів.

Економічна доцільність електродугового наплавлення проявляється у зменшенні витрат на придбання нових робочих органів та продовженні міжремонтного періоду. Крім того, наплавлення дозволяє реалізувати принцип диференційованого зміцнення – нанесення зносостійкого шару лише на найбільш навантажені ділянки (ріжучу кромку, носову частину), що знижує витрати матеріалу і зберігає пластичність основи.

Таким чином, аналіз сучасних технологій поверхневого зміцнення показує, що високотехнологічні методи (лазерні, плазмові, вакуумні) забезпечують високі експлуатаційні показники, але є економічно обмеженими для масового застосування у сільському господарстві України. Хіміко-термічні та електрофізичні методи мають технологічні переваги, проте не завжди відповідають вимогам до товщини та ремонтпридатності зміцненого шару.

Науково обґрунтованим і практично доцільним напрямом підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин є застосування

електродугового наплавлення з використанням легованих або композиційних зносостійких матеріалів [5]. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію складу наплавленого шару, режимів наплавлення та оцінку зносостійкості в умовах реального ґрунтового середовища. Передбачається, що впровадження удосконаленої технології електродугового наплавлення дозволить підвищити ресурс робочих органів не менше ніж у 1,5–2 рази при збереженні економічної ефективності виробництва. Порівняльна таблиця сучасних методів зміцнення поверхонь ґрунтообробних деталей наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Порівняльна таблиця сучасних методів зміцнення поверхонь ґрунтообробних деталей

| № з/п | Метод зміцнення                  | Переваги                                                 | Недоліки                                           |
|-------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1     | 2                                | 3                                                        | 4                                                  |
| 1.    | Електродугове наплавлення        | Доступність, товстий зносостійкий шар, ремонтпридатність | Велике тепловкладення, деформації, можливі тріщини |
| 2.    | Порошкове (плазмове) наплавлення | Керований склад, висока твердість, менші деформації      | Складне обладнання, висока вартість                |
| 3.    | Лазерне наплавлення              | Мінімальна зона нагріву, висока точність                 | Дороге обладнання, невисока продуктивність         |
| 4.    | Об'ємне загартування             | Підвищення твердості, простота                           | Ризик деформацій, крихкість без відпуску           |
| 5.    | Індукційне (ТВЧ) загартування    | Мала деформація, зміцнення робочої зони                  | Потребує спеціального обладнання, обмежена глибина |
| 6.    | Азотування                       | Висока твердість, мінімальні деформації                  | Тонкий шар, тривалий процес                        |
| 7.    | Іонно-плазмове азотування        | Висока керованість, стабільна твердість                  | Дороге обладнання, мала товщина шару               |
| 8.    | Цементация                       | Глибокий твердий шар; висока зносостійкість              | Можливі деформації, складний термоцикл             |
| 9.    | Плазмове напилення               | Нанесення карбідів, висока твердість                     | Висока вартість, можливі пори                      |
| 10.   | HVOF напилення                   | Щільні карбідні покриття, висока адгезія                 | Дороге обладнання, складність процесу              |
| 11.   | Гальванічне хромування           | Антикорозійність, зниження тертя                         | Тонкий шар, екологічні обмеження                   |
| 12.   | PVD/CVD-покриття                 | Надвисока твердість, зменшення зносу                     | Тонкий шар, висока вартість                        |

### Список використаних джерел

1. Бендера І.М., Сало В.М. Надійність та довговічність робочих органів сільськогосподарських машин. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 256 с.

2. Калетнік Г.М., Пришляк В.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів у сільськогосподарському машинобудуванні. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 312 с.

3. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

4. Totten G.E. (Ed.). Steel Heat Treatment Handbook. – 2nd ed. – CRC Press, 2017. – 1200 p.

5. Davis J.R. (Ed.). Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. – ASM International, 2013. – 390 p.



## **Секція 2 «Прикладна механіка»**

УДК 631.358:631.363.2

## **ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СХЕМИ ВІБРАЦІЙНОГО ВИКОПУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КОРЕНЕПЛІДНИХ КУЛЬТУР (НА ПРИКЛАДІ МОРКВИ)**

**В. М. БУЛГАКОВ**, д.т.н., професор;  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
**Д. С. ПОЛІЩУК**, аспірант  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

Збирання коренеплідних культур є одним із найвідповідальніших етапів технологічного процесу їх вирощування, оскільки саме на цій стадії формуються остаточні показники товарної якості та збереженості продукції. Коренебульбоплідні овочеві культури, такі як морква, відіграють важливу роль у сільському господарстві та харчовій промисловості. Завдяки своєму високому вмісту вітамінів, мінералів та антиоксидантів морква є цінним джерелом поживних речовин. Тому розроблення та вдосконалення робочих органів і технічних засобів для збирання коренеклубнеплодів овочевих культур є актуальною проблемою.

Особливості форми, глибини залягання та механічної міцності коренеплодів моркви зумовлюють підвищені вимоги до конструкції викопуючих робочих органів збиральних машин. Ефективність їх роботи визначається здатністю забезпечити повне відокремлення коренеплоду від ґрунту з мінімальними пошкодженнями та раціональними енергетичними витратами.

Отже, виникає проблема удосконалення конструкційних схем вібраційних викопуючих робочих органів, що дозволяють збільшити руйнування ґрунтового шару та підвищити якість технологічного процесу.

Механізоване збирання коренеплідних культур, зокрема моркви, супроводжується значними втратами продукції через пошкодження та обламування хвостових частин коренеплодів. Це особливо характерно при роботі на ущільнених і пересушених ґрунтах. Відомо, що застосування вібраційних викопуючих органів дозволяє зменшити сили зчеплення ґрунту з коренеплодом та знизити тяговий опір машини.

Однак традиційні конструкції, у яких лемеші формують звужене робоче русло, створюють жорстку ударну взаємодію з коренеплодами, що призводить до їх травмування. Тому актуальним і достовірним є обґрунтування такої конструкційної схеми, яка забезпечить підвищення якості викопування без збільшення енергоємності процесу.

З метою підвищення якості викопування з ґрунту коренеплідних культур розроблено конструкційну схему вібраційного викопуючого робочого органу

для коренеплідних культур, що складається з рами, на якій за допомогою шарнірів і стійок, що кінематично зв'язані з приводом їх у коливальний рух у поздовжньо-вертикальній площині, встановлені лемеші. Вони утворені двома окремими частинами, у яких задні частини виконані поворотними і зв'язаними з передніми за допомогою шарнірів і пружин. При цьому, передні і задні поворотні частини лемешів встановлені відносно один одного з зазорами в поздовжньо-вертикальних площинах, передні частини мають закріплені осі, розташовані в середині їх площин і спрямовані в тильні сторони лемешів. При цьому задні поворотні частини містять спереду втулки, встановлені на осі передніх частин з різьбовими хвостовиками для змін зазначених зазорів. Передні і задні частини також зв'язані між собою плоскою фігурною пружиною кручення, а зазори з боку звужуваного робочого русла закриті клиноподібними загостреними площинами, які є продовженням передніх частин лемешів.

Запропонована конструкція вібраційного викопуючого робочого органу забезпечить адаптивність до різних фізико-механічних характеристик ґрунту, підвищить якість викопування коренеплідних культур за рахунок формування додаткових вертикальних витягуючих зусиль та пом'якшення ударної взаємодії.

Таким чином, застосування даного вібраційного викопуючого робочого органу для коренеплідних культур дозволить підвищити якість викопування коренеплідних культур на 10...15%.

## **THEORETICAL STUDY OF A PNEUMATIC DEVICE FOR PRECISE APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS BY AN AGRO-ROBOT**

**Jüri OLT**, DrSc., PhD,  
ORCID 0000-0003-4302-3176

**Tormi LILLERAND**, Eng,  
ORCID 0000-0002-1095-7485

*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Tartu, Estonia*

**Yevhen IHNATIEV**, PhD,  
ORCID 0000-0003-0315-1595

*Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhia, Ukraine*

*E-mail: jyri.olt@emu.ee, tormi.lillerand@emu.ee, yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua*

Modern fertilizer spreaders for field crops and perennial plantations mainly employ either centrifugal disks for broadcasting over the whole field surface or continuous band application along the row using tubes attached to soil cultivating tines. These technologies provide high field capacity but cannot deliver plant wise doses directly to the root zone, which is essential for true precision farming.

Fertilizers are often placed in the inter row space, leading to unnecessary nutrient losses, enhanced weed growth and reduced fertilizer use efficiency. The present work is part of a broader search for new energy efficient working bodies of agricultural machines and focuses on a pneumatic applicator mounted on a farming robot for localized mineral fertilizer application at the level of individual plants.

The aim of the study is to theoretically substantiate the structural and kinematic parameters of a pneumatic device that can dose and deliver a single portion of granular fertilizer to the root zone of each plant while the agro-robot moves continuously along the crop row. The device should ensure high positional accuracy and acceptable energy consumption for a battery powered robotic platform.

The proposed applicator is installed in the inter-wheel space of a wheeled farming robot. It consists of a hopper with a metering unit, an accumulation chamber where a single dose of fertilizer is formed, an inclined applicator tube capable of rotating in the horizontal plane, and a pneumatic system including a compressor, an air receiver and a solenoid valve. During operation, fertilizer is periodically metered from the hopper into the accumulation chamber. When the next plant enters the working sector between the wheels, the applicator tube is rotated toward the plant and a short compressed air pulse is generated by opening the solenoid valve. The airflow pushes the accumulated dose through the inclined tube so that the fertilizer exits near the root zone at a specified height above the soil surface. The tube rotation angle and valve opening time are determined by the robot control system and can be synchronized with a machine-vision subsystem that detects plant coordinates in real time.

For the conference presentation, the overall layout of the farming robot with the modular fertilizer applicator and the placement of the main components of the pneumatic device can be illustrated (Fig. 1).

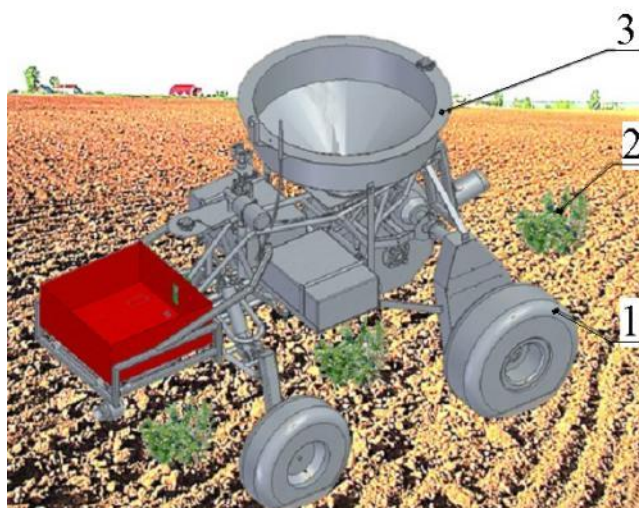


Fig. 1. Farming robot equipped with a modular pneumatic fertilizer applicator for plant-wise dosing 1 – field robot; 2 – crop row; 3 – fertilizer application device.

A theoretical model of fertilizer motion inside the applicator tube was developed. The model takes into account the tube inclination with respect to the horizontal plane, its rotation toward the plant, and the main forces acting on the

fertilizer portion: gravity, the aerodynamic action of the air jet, friction between the granules and the tube wall, as well as centrifugal and Coriolis inertial forces resulting from tube rotation. This leads to a nonlinear second order differential equation for the relative motion of a fertilizer portion along the tube. The equation is solved numerically for different operating regimes, yielding time dependencies of the displacement along the tube and allowing the determination of ejection time and exit velocity for given fertilizer mass, air pressure force and tube length.

Parametric simulations were carried out for fertilizer portions with masses between 0.01 and 0.04 kg and for airflow forces in the range of 1–3 N. The results show that the motion of the dose along the tube is accelerated; increasing the driving airflow force significantly reduces the time required for the portion to reach the outlet, while increasing the mass leads to slower acceleration due to higher inertia. These dependencies can be presented in the form of displacement-time curves, which clearly demonstrate the influence of the main parameters on the transport process (Fig. 2).

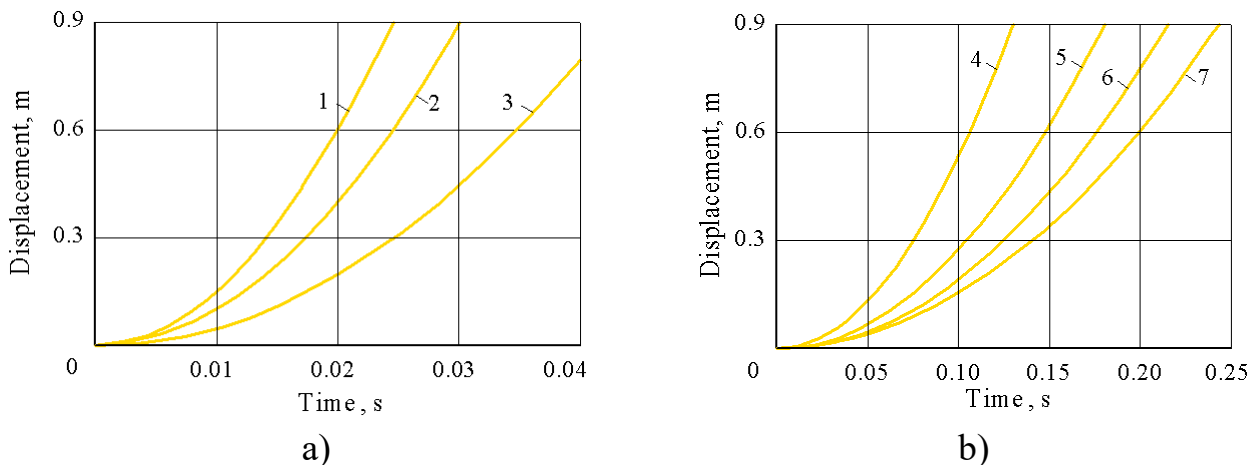


Fig. 2. Example dependencies of fertilizer dose displacement along the applicator tube on time for different airflow forces (a) and portion masses (b): .

Using the obtained relationships, the required angular velocity of the applicator tube rotation mechanism and the necessary compressed air force can be coordinated with the travelling time of the robot between neighbouring plants. In this way, the device ensures that each dose is delivered to the correct plant even though the platform does not stop or perform reverse movements, which would decrease field capacity. At the same time, the modelling results make it possible to avoid an oversized pneumatic system and to choose the minimal airflow parameters that still guarantee reliable transport of the fertilizer, which is important for the energy efficient operation of an autonomous robot supplied by batteries and possibly solar panels.

To verify the adequacy of the mathematical model, preliminary experiments were carried out in which fertilizer portions of 0.01 kg and 0.04 kg were transported through an inclined tube of 1 m length and 0.019 m inner diameter. Transit times were measured at several points along the tube and compared with the results of numerical integration of the model equation. For the smaller dose, the mean relative



error between calculated and experimental transit times was around 3 %, and for the larger dose about 9.5 %, while the correlation coefficients between theoretical and experimental curves exceeded 0.99. These indicators confirm that the model is sufficiently accurate for engineering calculations and for tuning the control algorithms of the applicator.

Overall, the proposed pneumatic applicator can be considered as a new energy efficient working body of an agricultural machine for precision farming. It enables discrete, plant oriented dosing of mineral fertilizers with high positional accuracy, reduces unnecessary application in the inter-row space and thereby lowers fertilizer consumption and associated energy and environmental costs. The theoretical and experimental results provide a basis for optimizing the device parameters and control strategy. Future work will focus on detailed discrete element simulations of particle wall interactions in the tube, as well as on full scale field tests of the integrated robotic system under real operating conditions.

### References

1. Adamchuk, V., Vozjik, Y. Method of Pneumatic Transportation for Application of Granular Mineral Fertilizers. Patent of Ukraine UA146033, 20.01.2021.
2. Lillerand, T., Liivapuu, O., Ihnatiev, Y., Olt, J. Theoretical Study of a Pneumatic Device for Precise Application of Mineral Fertilizers by an Agro-Robot. *AgriEngineering* 2025, 7.
3. Virro, I., Arak, M., Maksarov, V., Olt, J. Precision fertilisation technologies for berry plantation. *Agron. Res.* 2020, 18, 2797–2810.
4. Cheng, B., He, R., Xu, Y., Zhang, X. Simulation Analysis and Test of Pneumatic Distribution Fertilizer Discharge System. *Agronomy* 2022, 12, 2282.

УДК 631.3; 629.3.014

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДУ СТОЛОВОГО БУРЯКА СПІРАЛЬНИМ ОЧИСНИКОМ

**І. В. ГОЛОВАЧ**, д.т.н., проф.; **В. В. МАРТИНЮК**, аспірант  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Однією з проблем під час збирання коренеплодів столового буряка є втрати ґрунту, спричинені механічним впливом робочих органів збиральних машин і технологічними операціями очищення. Такі процеси призводять до порушення структури ґрунтового шару та розвитку ерозійних явищ. Зменшення втрат ґрунту можливе шляхом удосконалення технологій збирання, оптимізації конструктивно-технологічних параметрів машин і впровадження сучасних

технічних рішень, спрямованих на збереження родючості ґрунтів у довгостроковій перспективі. Також у зв'язку з цим ведеться безперервна розробка нових машин та технічних рішень для збирання й очищення коренеплодів буряків. Проведений аналіз відомих досліджень показав, що проблема якісного очищення коренеплодів столового буряка за їх механізованого збирання не повною мірою є вирішеною.

Тому для підвищення якості очищення коренеплоду столового буряка спіральним очисником на основі теоретичних досліджень і аналізу виконаних раніше експериментів розроблено нову конструкцію лабораторної установки.

При проведенні досліджень коренеплід столового буряку з налиплим ґрунтом спочатку зважували на електронних вагах, після чого він попадав в очисне русло очисника і транспортувався в зону вивантаження. Після цього його знову зважували.

Для визначення кількості вільного ґрунту, під очисним руслом знаходився лоток, за допомогою якого можна визначити кількість сепарованого ґрунту по довжині транспортування. Кількість зв'язаного ґрунту визначалась як різниця маси коренеплоду після очищення і маси самого буряка.

За результатами експериментальних досліджень побудовані відповідні рівняння регресії, поверхні відгуку та їх двовимірні перерізи, що дасть спроможність установити вплив незалежних факторів на якість роботи спірального очисника, тобто кількості вільного та зв'язаного ґрунту під час очищення в робочому руслі. До цих факторів належать: маса коренеплоду ( $m$ , г), висота його падіння ( $h$ , см), та вологість ґрунту ( $w$ , %).

Отримані результати досліджень дають змогу вибрати оптимальні конструктивні, кінематичні та технологічні параметри розробленого очисника коренеплоду столового буряка.

**УДК 631.3.001.4:621.01**

## **ЩОДО СТВОРЕННЯ В УКРАЇНІ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**О. В. БУЛГАКОВА**, к.іст.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Початок 30-х років минулого століття був характерним в нашій країні процесом зростання індустріалізації і був відзначеним розвитком важкої промисловості, зокрема вугільної, металургії та машинобудування. Цей процес був спрямований не тільки на створення нової, більш досконалої матеріально-технічної бази, а й модернізації промисловості, транспорту, сільського

господарства на підставі нових досліджень й розробок, а також на підвищення продуктивності праці.

Безумовно, що щорічне, стабільне виробництво продовольчих ресурсів, їх неухильне збільшення у подальшому в усі часи завжди мали та мають найважливіше стратегічне значення для будь-якої держави світу. Крім забезпечення життєдіяльності населення, зростання виробництва сільськогосподарської продукції вимагало його інтенсифікації, у тому числі й шляхом індустріалізації самої цієї галузі.

З масовим утворюванням в Україні, у згадані часи, великих державних сільськогосподарських підприємств виникла негайна потреба у впровадженні в них механізації виконання основних технологічних процесів, що вимагало використання нових сільськогосподарських машин і знарядь та розв'язування головного питання, тобто переходу від застосування живої тягової сили на механічну. З неймовірними зусиллями в Україні, як і у всьому світі, розроблялись конструкції тракторів, будувались тракторні заводи. Тому й постало гостре питання організації в нашій державі наукового супроводження механізації сільськогосподарського виробництва на підставі широкого використання сільськогосподарської техніки.

Рішення про створення в Україні Інституту механізації сільського господарства було прийнято Радою народних комісарів УРСР з початку квітня 1930 року (постанова № 11/664). При цьому, раніше, був створений Оргкомітет по організації цієї наукової установи на чолі з першим директором Варфоломієвим М. Г., який за фахом був економістом. Згідно наказу по Народному Комісаріату земельних справ УРСР №333/2910 від 12 липня 1930 року Український інститут механізації сільського господарства в системі Наркомзему республіки відкрито з 1 липня 1930 року в місті Харкові, який у той час був столицею України. З самого початку Інститут почав розміщуватися в Шляпниковському провулку у великому залі приміщення книжкового магазину «Академ.-книга», потім був переведений на вулицю Юшивська, у будинку №11, помешкання 28. Згідно наказу по Народному комісаріату земельних справ УРСР, №262/2950 від 7 серпня 1930 року в розпорядження інституту передано приміщення Постійної виставки сільськогосподарських машин і знарядь в місті Харкові по вулиці Свердлова, яке мало вигляд ангара з гофрованого сталевого листа без опалювання в зимовий період. Але вже в 1931–1933 роках Інститут був переведений у центр міста Харкова і почав розміщуватися у будинку №20, який знаходився на площі Рози Люксембург. Тут він займав увесь п'ятий поверх приміщення, а у 1933–1938 роках вже знаходився у будинку №76 по вулиці Сумська (бувши Карла Лібкнехта). Цей будинок належав Всеукраїнській Академії сільськогосподарських наук і новий інститут був у підпорядкуванні цієї академії [1, с. 3].

Згідно наказу по Народному комісаріату земельних справ УРСР №290/2178 від 30 серпня 1930 року інституту передано Якимівську тракторовипробувальну станцію (Запорізька обл.) і П'ятихатську

сільськогосподарську дослідну станцію (Дніпропетровська обл.) [1, с. 4].

З самого початку перед Інститутом було поставлено завдання розробки конкретних питань, пов'язаних з впровадженням у сільське господарство держави нової техніки вітчизняного виробництва та її експлуатацію, вивчення, узагальнення і поширення досвіду практичного використання машин та розроблення теоретичних питань для удосконалення існуючих і створення нових сільськогосподарських машин і знарядь.

Після організації інституту перед його керівництвом виникла необхідність вирішення питань розробки структури інституту і у відповідності до неї підбору, розстановки та підготовки кадрів, а також створення експериментально-виробничої бази.

В перші роки існування структура інституту була такою, що йому доводилось займатися механізацією практично усіх галузей сільського господарства. В інституті була численна кількість груп і відділів: тракторовикористання, ґрунтообробних машин, збиральних машин, бурякова, городництва, садо-виноградна, бавовникова, тваринництва, вітродвигунів, ремонту, економіки та організації сільського господарства [1, с. 4].

Інститут займав останній поверх із загальною площею 780,37 кв. метрів, із яких конторські приміщення займали 737,6 кв. метрів. За це УНДІМ сплачував 2263 крб. 74 коп. щомісяця [2, арк. 14].

Новий інститут був у підпорядкуванні Всеукраїнської Академії сільськогосподарських наук, розташованої у 1933 р. у будівлі на вул. Лібкнехта (нині – вул. Сумській) у будинку №76 [3, арк. 4].

Незважаючи на те, що новий інститут був відкритий у 9 відділах, йому більше року не вдавалося виконати навіть мінімальні завдання, які було на нього покладено. Практично повна відсутність матеріально-технічної бази, великі проблеми у підборі наукових кадрів зводили ефективність науково-дослідної роботи до нуля. На це існували й об'єктивні причини: у Харкові був дефіцит житлових приміщень, чимала кількість дипломованих фахівців здобула освіту до 1917 року та не розуміли й не бачили перспектив механізації сільського господарства, адже їх цьому не вчили. Крім того, дипломовані фахівці часто працювали в кількох місцях, що ускладнювало їхню зацікавленість роботи в УНДІМі. Але не дивлячись на існуючі труднощі Інститут продовжував працювати.

Отже, створення в Україні Науково-дослідного інституту механізації сільського господарства було надзвичайно важливим. Саме Харківський період роботи Українського науково-дослідного інституту механізації тривав до 1941 року. Потім Інститут був евакуйований. Рішення про евакуацію інституту в Саратовську область було прийнято урядом України 18 вересня 1941 року [1, с. 10]. У 1944 році УНДІМ повернувся з евакуації до України, але був одразу переміщений у місто Київ. Вже в червні 1944 року Інститут було розміщено на території колишнього інституту наукових методів сівби в Голосієві з земельною площею 55 га, що мало чотири зруйнованих корпуси, а для представництва у

місті Києві було надано одне приміщення. Також відновлювалась діяльність підпорядкованої інституту Якимівської науково-дослідної станції механізації сільського господарства і на базі інституту в «Шевченка» біля міста Харків створювалась Харківська науково-дослідна станція механізації сільського господарства, яку підпорядкували інституту [1, с. 12].

#### **Список використаних джерел**

1. Верніков Д.І. Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»: історичний нарис, науковці, наукові розробки – 1930–2005 роки. Рукопис. ННЦ «ІМЕСГ», 2005. 144 с.
2. Центральний державний архів вищих органів влади України. Ф. 1055. Оп. 1. Спр. 170. Відомості на директорат по науково-дослідним установам мережі ВУАСГН. 1931 р. 48 арк.
3. Центральний державний архів вищих органів влади України. Ф. 1055. Оп. 1. Спр. 871. Адреси установ Всеукраїнської академії сільськогосподарських наук. 1931 р. 21 арк.
4. Глікберг А.Г. Наші праці по механізації соціалістичного сільського господарства. УНДІМ. Харків, 1941. 100 с.

**УДК 539.38**

### **РИЗИКИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ X10CrNi18-8 ПРИ СУМІСНОЇ ДІЇ ДИНАМІЧНИХ НЕЗРІВНОВАЖЕНИХ ПРОЦЕСІВ І КРИОГЕННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ**

**Микола ЧАУСОВ**, д.т.н., проф.,  
**Владислав ШМАНЕНКО** аспірант

*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

Нержавіючі сталі різних класів знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості, в тому числі і в криогенній техніці. Використання нержавіючих сталей в криогенній техніці найбільш корисно, оскільки внаслідок мартенситних або інших перетворень структури при низьких температурах механічні властивості подібних сталей значно поліпшуються, у порівнянні з кімнатною температурою. Традиційно оцінку механічних властивостей нержавіючих сталей при криогенних температурах проводять при одновісному розтягу при різних швидкостях деформації, ударному згині, змінних навантаженнях, а також по спеціальних методиках для оцінки тріщиностійкості сталей. Слід підкреслити, що нержавіючі сталі, які використовуються в ракетно-криогенній техніці, можуть підвергатися і більш складним режимам навантаження, зокрема, ударно-коливальним. В цьому випадку, за рахунок



раптового накопичення надлишкової енергії в деяких елементах механічної системи активується динаміка внутрішніх процесів в матеріалах і реалізуються динамічні незрівноважені процеси (ДНП) за умов нелінійної (хаотичній) динаміки.

Відсутність реальних методик механічних випробувань матеріалів різних класів в умовах реалізації ДНП різної інтенсивності як раз і було основною причиною відсутності значного прогресу в даному напрямку досліджень. Автори вперше у світовій практиці розробили ефективну методику реалізації ДНП у конструкційних матеріалах за рахунок ударно-коливального навантаження (УКН) різної інтенсивності. Досліди, проведені авторами по оцінці впливу ДНП за рахунок УКН різної інтенсивності на зміну вихідних механічних властивостей матеріалів різних класів при кімнатній температурі дозволили систематизувати закономірності цього впливу і уточнити розрахунки на міцність відповідальних конструкцій. Однак вплив сумісної дії ДНП і криогенного охолодження на зміну механічних властивостей і структурного стану нержавіючих сталей різних класів практично не досліджувався.

Метою даної роботи є дослідження ефектів сумісної дії криогенного охолодження і УКН різної інтенсивності на зміну механічних властивостей і структурного стану нержавіючої сталі X10CrNi18-8.

Сталь X10CrNi18-8 (аналог сталі AISI 302 / EN 1.4310) відноситься к нержавіючим сталям 300 серії і часто рекомендується для виготовлення пружин. А пружини як раз і працюють в умовах УКН. Експериментальні дослідження проводили на модифікованій випробувальній машини ZD-100Pu з додатково встановленою камерою охолодження. Час попередньої криогенної витримки зразків із досліджуваній сталі складав 1 годину. Інтенсивність імпульсного введення енергії в сталь контролювалася раптовим збільшенням динамічної деформації  $\epsilon_{\text{имп}}$  при реалізації ДНП. В даному випадку  $\epsilon_{\text{имп}}$  є інтегрованим навантаженням, яке вже враховує амплітудно-часову структуру імпульсу. Діапазон імпульсного введення енергії в сталь складав  $\epsilon_{\text{имп}} = 0,06 \dots 2,69\%$ . Структурні зміни в сталі при різних рівнях інтенсивності УКН досліджували використовуючи трансмісійний електронний мікроскоп JEOL-2100F, а для дифракційного (XRD) аналізу використовувався дифрактометр BRUKER D2 Phaser.

В результаті проведених досліджень виявлена специфічна хвилеподібна механічна реакція сталі на реалізацію УКН у заданому діапазоні  $\epsilon_{\text{имп}} = 0,06 \dots 2,69\%$ , яка є найбільш виразною при  $\epsilon_{\text{имп}} = 0,11\%$  і  $\epsilon_{\text{имп}} = 2,69\%$ . Розкид даних по межі міцності сталі для всіх реалізованих режимів навантаження в межах  $6,38\%$ , по пластичності в межах  $21,25\%$ . При  $\epsilon_{\text{имп}} > 2,7\%$  зразки сталі руйнуються в динамічному режимі. Для пояснення ефектів такої специфічній механічній поведінки сталі в реалізованому діапазоні попереднього імпульсного введення енергії в сталь за рахунок УКН в рідині рідкого азоту на вибраних пробах проведений детальний аналіз структурних станів сталі фізичними методами. Встановлено зв'язок різних структурних станів сталі з

механічними властивостями. Зокрема, показано, що в структурі сталі при  $\varepsilon_{\text{imp}} = 0,11\%$  зменшилась кількість дефектів у кристалічній решітці фази аустеніту (staging faults). Це вплинуло на збільшення міцності і деформації сталі. Таким чином, навіть така незначна величина  $\varepsilon_{\text{imp}}$  для досліджуваних сталі приводить до помітним структурним змінам, що відображається на механічних властивостях сталі. В іншому випадку, при наближенні  $\varepsilon_{\text{imp}}$  до  $2,7\%$ , загальна частка більш крихкої мартенситної фази в структурі сталі значно зростає і досягає  $22\%$ , і тому при подальшому збільшенні  $\varepsilon_{\text{imp}}$  наново створена більш крихка структура сталі не здатна поглинути більшу енергію УКН і сталь руйнується в динамічному режимі.

На основі виконаних досліджень можна зробити висновок, що можуть виникнути не прогнозовані ризики раптового руйнування сталі при таких не високих рівнях  $\varepsilon_{\text{imp}} = 2,7\%$  при сумісній дії УКН і криогенного охолодження.

Запропонована методика оцінки впливу попереднього УКН різної інтенсивності безпосередньо в рідині рідкого азоту на зміну механічних властивостей при подальшому статичному розтягу може виявитися дуже корисною для вибору найбільш перспективних нержавіючих сталей для відповідальних конструкцій криогенної техніки, які працюють, в тому числі, і в умовах динамічних підвантажень в процесі експлуатації.

**УДК 631.3; 629.3.014**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ НА ПРИВІДНОМУ ВАЛІ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ГНУЧКИМ ГВИНТОВИМ КОНВЕЄРОМ**

**О. М. ТРОХАНЯК**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для проведення досліджень процесу утилізації знятого забрудненого ґрунту з середини вирви було розроблено й виготовлено експериментальну установку, яка дозволяє в лабораторних умовах проводити дослідження транспортування сипкого матеріалу по криволінійних трасах. За допомогою розробленої конструкції гнучкого гвинтового секційного робочого органу визначвся крутий момент на приводі гнучкого гвинтового конвеєра. Було вивчено вплив частоти обертання шнека, висоти піднімання зчищеного ґрунту і радіуса кривизни гнучкого гвинтового секційного робочого органу на величину крутного моменту на привідному валі при транспортуванні.

Досліди проводились при повному заповненні технологічної магістралі ґрунтом. Для зміни частоти обертання робочого органу використовували перетворювач частоти, на якому змінювали частоту напруги, яка подавалась на двигун. Експериментальні дослідження проводились при довжині магістралі

транспортування матеріалу 4 м, висоту піднімання зчищеного пошкодженого шару ґрунту змінювали шляхом зміни кута нахилу магістралі, зміну радіуса кривизни гнучкого гвинтового секційного робочого органа забезпечували шляхом зміни кривизни технологічної магістралі.

За результатами експериментальних досліджень побудовані відповідні рівняння регресії, поверхні відгуку та їх двовимірні перерізи для встановлення впливу на крутний момент на приводі гнучкого гвинтового конвеєра керованих факторів під час транспортування ґрунту.

Аналіз наведеного регресійного рівняння показує, що домінуючим фактором, який впливає на величину крутного моменту є висота піднімання матеріалу  $h$ . Також суттєво впливає на зміну крутного моменту радіус кривизни гнучкого гвинтового секційного робочого органа  $R$ . Найменш впливовою є частота обертання робочого органу  $n$ . При зміні висоти піднімання матеріалу  $h$  в межах 1...3 м величина крутного моменту збільшується на 18 %, при зміні радіусу кривизни шнека  $R$  в межах 0,3...1,5 м величина крутного моменту збільшується на 14 %, а в діапазоні зміни частота обертання робочого органу  $n$  від 300 об·хв<sup>-1</sup> до 700 об·хв<sup>-1</sup> значення крутного моменту збільшується на 10,5 %.

Отримані результати досліджень дають змогу вибрати оптимальні конструктивні, кінематичні та технологічні параметри розробленого гвинтового секційного робочого органу для утилізації знятого забрудненого ґрунту з середини вирви.

**УДК 621.9.048**

## **ОБГРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАНІПУЛЯЦІЙНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

**О. М. ЧЕРНИШ**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Мета дослідження.** Обґрунтувати алгоритм визначення кінематичних параметрів моделі маніпуляційної робототехнічної системи на основі застосування методу приєднаних координат.

**Результати досліджень.**

Питання розробки і створення прикладних методів розрахунку у тому або іншому програмному середовищі відповідно до конкретних поставлених умов на сьогоднішній день досить актуальні. Для створення алгоритму таких обрахунків можна залучити, як загальновідомі і спеціалізовані програмні комплекси.

У цілому вибір методів і засобів програмування і розрахунку кінематичних параметрів робототехнічних систем мають місце у більшості сучасних технологічних процесів. При цьому разом із задачами забезпечення точності і швидкості позиціонування робочих органів робототехнічних систем, підвищення якісних показників, існує також проблема зменшення енерговитрат робочого процесу. Це особливо актуально для автономних робототехнічних комплексів, які залежать від енергоємності їх акумуляторів. Для розв'язку цих задач потрібно застосовувати більш ефективні і точні алгоритми керування маніпуляційними системами.

Практична доцільність і ефективність застосування матричних розрахунків в задачах створення алгоритмів визначення кінематичних параметрів багатоланкових маніпуляційних робототехнічних систем полягає в тому, що тут застосовується послідовне перетворення координат при переході від однієї ланки до наступної.

Такий процес переходу містить послідовний набір матриць перетворення, які зв'язані з системами координат ланок кінематичного ланцюга механізму робототехнічної системи. Кожна система координат кінематичного ланцюга формується за методом Денавіта-Хартенберга (Д-Х перетворення) послідовної побудови систем координат із формуванням однорідних матриць цих перетворень.

Застосувавши матриці перетворення, можна отримати зв'язок між координатами  $k_i$  будь-якої точки  $K$   $i$ -ї ланки маніпуляційної робототехнічної системи у системі відліку, що рухомо з'єднана із суміжною  $(i-1)$ -ю ланкою:

$$\bar{k}_{i-1} = {}^{i-1}M_i \cdot \bar{k}_i, \quad (1)$$

де  ${}^{i-1}M_i$  – матриця елементарного перетворення для суміжних систем координат;  $\bar{k}_{i-1}$ ,  $\bar{k}_i$  – вектори положення довільної точки  $K$  для суміжних систем координат.

Це дозволяє описати положення кожної ланки відносно положення попередньої ланки системи.

Добуток матриць утворює однорідну матрицю складного перетворення:

$${}^{i-1}M_i = T_{Z,d_i} \cdot T_{Z,\theta_i} \cdot T_{X,a_i} \cdot T_{X,\alpha_i}, \quad (2)$$

де  ${}^{i-1}M_i$  – ДХ-матриця складного перетворення для суміжних систем координат,  $a_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $d_i$ ,  $\theta_i$  – чотири геометричні параметри кінематичного ланцюга, що описують зв'язок між суміжними системами координат.

Матриця координат точки  $K$  в  $(i-1)$ -й системі відліку, зв'язаною з  $(i-1)$ -ю ланкою може бути представлена у вигляді

$$k_{i-1} = (x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}, 1)^T. \quad (3)$$

При цьому матриця координат точки  $K$  в  $i$ -й системі відліку, що зв'язана з  $i$ -ю ланкою буде наступного виду

$$k_i = (x_i, y, z_i, 1)^T. \quad (4)$$

Тоді однорідна матриця  ${}^0T_i$ , що визначає положення  $i$ -ї системи координат відносно базової, являє собою добуток послідовності однорідних матриць перетворення:

$$\begin{aligned} {}^0T_i &= {}^0M_1 \cdot {}^1M_2 \cdot \dots \cdot {}^{i-1}M_i = \prod_{i=1}^n {}^{i-1}M_i = \begin{bmatrix} x_i & y_i & z_i & k_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} {}^0r_i & {}^0k_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (5)$$

де  ${}^0r_i$  – матриця визначення орієнтації  $i$ -ї системи координат по відношенню до базової;  ${}^0k_i$  – значення вектора, що з'єднує початок базової і  $i$ -ї системи координат.

В результаті алгоритм процесу визначення положення і орієнтації робочого органу робототехнічної маніпуляційної системи щодо абсолютної системи координат, тобто параметрів матриці, представляє собою послідовність множників:

$$T = {}^0M_1 \cdot {}^1M_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}M_n = \prod_{i=1}^n {}^{i-1}M_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

де  $n$  – число ланок кінематичного ланцюга маніпуляційної робототехнічної системи.

Отже, необхідні параметри руху робочого органу маніпуляційної робототехнічної системи можна визначити послідовним добутком однорідних матриць перетворення в процесі переходу від рухомих систем координат кожної ланки системи до абсолютної. Знайдена певна послідовність таких добутків і складає алгоритм аналітичних розрахунків положення робочого органу маніпуляційної робототехнічної системи.

У свою чергу параметри швидкості і прискорення відповідно є похідними від знайдених параметрів переміщення за часом.

Теоретичні дослідження проводились на базі елементарної моделі механізму триланкового маніпулятора робота із застосуванням програмних розрахунків.

### **Висновки.**

За допомогою проведених аналітичних досліджень представлений алгоритм розв'язку прямої задачі кінематики робототехнічної маніпуляційної системи, визначені координати і орієнтація робочого органу відносно абсолютної системи координат. Перевірка алгоритму підтвердила правильність програмних розрахунків, які спрощують і прискорюють процес отримання даних та дають можливість їх застосування для подальшого динамічного аналізу і керування механізмом маніпуляційного робототехнічного пристрою.



### Список використаних джерел

1. Mai, C. T., Nguyen, Q. D. Monitoring the End-Effect position of the three-joint rotary manipulator in matlab simmechanics using the pid algorithm // *Thu Dau Mot University Journal of Science*. 2021. Vol. 1(2). P. 13–21.
2. Nikolic, M., Naim, M., Zuo, M. Kinematic Parameter Identification for Space Manipulators Using a Hybrid PSO-LM Optimization Algorithm // *Applied Sciences* (MDPI). 2022. Vol. 12, Issue 11. 1006 p.
3. Jiang, Y., Yu, L., Jia, H., Zhao, H., & Xia, H. (2020). Absolute Positioning Accuracy Improvement in an Industrial Robot. *Sensors*, 20(16), 4354. DOI: 10.3390/s20164354.
4. Zhao, Y., Liu, X., Cao, J., Liu, J., Xu, Y., & Yan, W. (2024). A calibration and compensation method for an industrial robot with high accuracy harmonic reducers. *Science China Technological Sciences*, 67, 725–739. DOI: 10.1007/s11431-023-2526-2.
5. Li, Z., Li, S., & Luo, X. (2021). An overview of calibration technology of industrial robots. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(1), 23–36.
6. Roth, Z., Mooring, B., & Ravani, B. (1987). An overview of robot calibration. *IEEE Journal on Robotics and Automation*, 3, 377–385.

УДК 624.072.2.042.7

### ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ ТА ВІБРОЗАХИСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПЕРІОДИЧНИХ БАЛОЧНИХ СИСТЕМ У СКЛАДІ ТРИМАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СПОРУД

**А. Г. КУЦЕНКО**, кандидат фізико-математичних наук, доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
**О. Г. КУЦЕНКО**, кандидат фізико-математичних наук, доц.  
*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Захист будівельних конструкцій від шкідливих шумів та вібрацій у промисловому машинобудуванні є критичним для забезпечення здоров'я персоналу та довговічності споруд [3]. Як ефективний засіб віброзахисту розглядаються системи типу балок або пластин із періодичною структурою, що здатні працювати як частотні фільтри для гармонічних хвиль. Періодичні системи мають властивість вибірково пропускати хвилі певних частот або повністю блокувати їх («запирати») на перших же періодах, що створює умови для локалізації динамічних впливів.

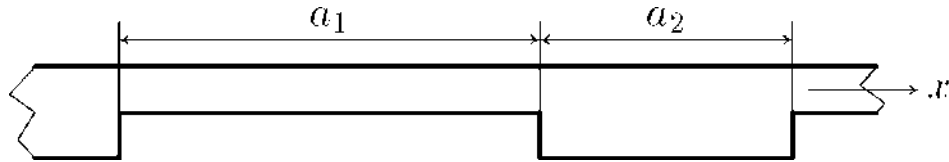
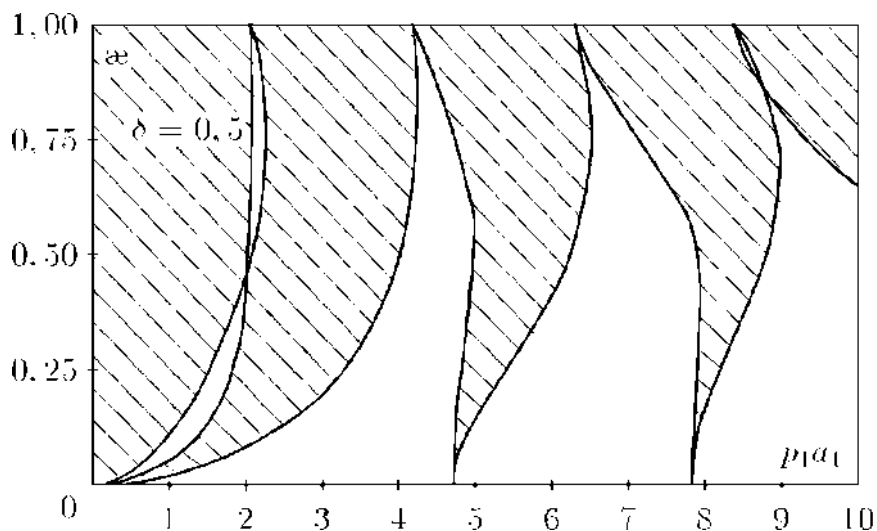


Рис. 1. Період нескінченної частково - неоднорідної балки

У представленій роботі моделювання процесу поширення хвиль згину проводиться для балки, кожен період якої складається з двох частин із різними геометричними та механічними характеристиками (Рис. 1). Для аналізу використовується загальний розв'язок рівняння динамічного згину балки на кожній ділянці періоду. На основі теорії Флоке [1, 2] та умов неперервності кінематичних і динамічних характеристик сформовано алгебраїчну систему для знаходження частотного розподілу.

Встановлено, що збільшення ступеня неоднорідності (різниця у жорсткості частин періоду) призводить до звуження «вікон прозорості». При значній різниці параметрів одна з частин виконує роль демпфуючого прошарку, фактично розриваючи зв'язок між жорсткими елементами, що сприяє швидкому згасанню хвилі. Дане твердження продемонстровано рисунком 2. На ньому параметр  $\delta$  позначає відношення довжин частин періоду:  $\delta = a_2 / a_1$ , а параметр  $\varepsilon$  — відношення їх хвильових чисел:  $\varepsilon = p_2 / p_1$ , тобто характеризує відношення згинних жорсткостей частин періоду. Параметр  $p_1 a_1$  можна розглядати як безрозмірну частоту хвилі.

Такі балки доцільно інтегрувати у тримальні перекриття промислових приміщень, де частоти вібрацій обладнання відомі заздалегідь. Це дозволяє створити «хвильовод», у якому технологічні шуми гасяться безпосередньо в конструкції, що суттєво зменшує загальне динамічне навантаження на споруду.

Рис. 2. Розподіл „вікон прозорості” для неоднорідної балки, зображеної на Рис. 1 при  $\delta = 0,5$ ,  $\varepsilon = 0 \div 1$

Оскільки в реальному будівництві використовують балки скінченної довжини, у майбутньому доцільно розглянути, як швидко відбувається згасання хвиль у системах з обмеженою кількістю періодів (наприклад, 3–5 секцій) та чи достатньо цього для ефективного захисту споруди.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на пошук такого співвідношення довжин частин періоду та їхньої жорсткості, яке б забезпечувало максимальне загородження («запирання») не лише однієї частоти, а цілих частотних смуг, характерних для роботи важкого промислового обладнання.

#### **Список використаних джерел**

1. Gi Woo Kim, Jong Yun Yoon Bifurcation analysis of bistable oscillator dynamics for human hair-cell bundle structures by mapping the Floquet multipliers. *Nonlinear Dynamics*, № 13, 2024, - p. 11383-11398
2. Moustafa S. Taima, Tamer A. El-Sayed, Michael I. Friswell Dynamic stability analysis of tapered rotating beams with 2D functionally graded materials: A comparative study of Floquet theory approaches. *Thin-Walled Structures*, 2025 - p. 113257.
3. Xiaoqiang Chong, Feng Hou, Yuxing Duan Beibei Ren Design and Study of Periodic Structures for Vibration and Noise Reduction. *Proceedings of the 8th China Aeronautical Science and Technology Conference*, 28 January 2026 - pp 441–451.

**УДК 631.3; 629.3.014**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ЗЧИЩЕННЯ ПОШКОДЖЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ У СЕРЕДИНІ ВИРВИ**

**О.М. ТРОХАНЯК**, к.т.н., доцент, **С.І. КОВАЛЬЧУК**, Ph.D.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Внаслідок військових дій виникають пошкодження на значних площах українських земель, які зазнали бомбардувань, що призвело не лише до механічного та фізичного погіршення стану ґрунту, але й до його хімічного забруднення. Для здійснення технічної рекультивації пошкоджених земель внаслідок бомбардування запропоновано метод, який передбачає спочатку очищення воронки від пошкодженого та забрудненого ґрунту важкими металами та іншими небезпечними речовинами.

Дослідження робочого процесу зчищення пошкодженого шару ґрунту у середині вирви проводилися на суглинистому ґрунті вологістю 10–20 %, зчеплення частинок ґрунту у межах 0,04...0,06 МПа.

Для зчищення поверхневого шару ґрунту розроблений робочий орган було закріплено на стрілі екскаватора за допомогою кронштейнів. За допомогою гідравлічної системи екскаватора робочий орган може повертатися під кутом та здійснювати повороти навколо осі органа. Повертання робочого органа дає можливість підібрати кут нахилу робочого органу відносно поверхні вирви, поверхневий шар якої необхідно зчистити. Ребра полиць швелерів і кутників, які приварено на робочому органі, дадуть можливість зняти верхній шар поверхні вирви і таким чином звільнити її від пошкодженого оплавленого ґрунту, який містить важкі метали та інші шкідливі речовини.

Для визначення сили різання ґрунту полицями швелерів та кутників використовували електронний динамометр з інтерфейсом SBA, тензодатчик якого закріплювали до кронштейнів робочого органу.

При зчищуванні поверхневого забрудненого шару ґрунту робочим органом, на якому закріплений тензодатчик, через натягування троса електронний динамометр перетворює силу в електричний сигнал, який обробляється за допомогою відповідної програми на ноутбукі та відображається у вигляді осцилограм на моніторі.

При проведенні досліджень фіксували значення сили різання полицями швелерів чи кутників розробленого робочого органу при зчищенні поверхневого шару ґрунту у середині вирви в десятикратній повторюваності.

З порівняння проведених теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень встановлено, що похибка між отриманими результатами знаходиться в межах 4,5...8,6%.

**УДК 631.3; 629.3.014**

## **МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПРОВЕДЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВИРВ ВІД ВИБУХІВ**

**Н. В. СЕРГЄЄВА, к.е.н.**

***Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України***

На основі досліджень впливу воєнних дій на ґрунти сільськогосподарського призначення отримана технологія рекультивації вирв від вибухів. Здійснити рекультивацію пошкоджених і забруднених земель можна механічно.

Для відновлення полів пошкоджених вибухами потрібно провести оцифрування ділянок за допомогою супутникового / БПЛА / наземного моніторингу з прив'язкою до системи координат. Оцифровувати потрібно всі ділянки незалежно від масштабу ураження. Навіть якщо фізичне пошкодження

грунту незначне, можливе сильне хімічне забруднення. Якщо пошкодження поверхні ділянок складає 75–100 % площі, то можна законсервувати пошкоджені ділянки і дозволити природі запустити процес самовідновлення, оскільки подальше завезення ґрунту хорошої якості — це затратно.

Якщо ж пошкодження складає 50–75 % площі ділянок, то земля підлягає рекультивації.

Моніторинг земель для максимального охоплення всієї потенційно ураженої площі з використанням сучасних технологій:

- високоточні супутникові дані для дистанційного моніторингу і оцифрування ділянок, що зазнали впливу воєнних дій;
- дрони, як для фото- та відеофіксації, так і магнітометричної зйомки для дистанційного виявлення та ідентифікації металевих і вибухонебезпечних предметів із метою подальшого розмінування та знешкодження.

Це дозволить зафіксувати, відцифрувати і встановити рівень шкоди кожної потенційно небезпечної ділянки поля. Прогресивні господарства, холдинги, які на своїх полях уже використовують елементи точного землеробства, можуть власними ресурсами відцифровувати пошкоджені ділянки, вирви тощо.

Далі потрібно провести відбір зразків у зоні враження (окремо) та ділянки навколо (окремо) та проаналізувати на вміст забруднюючих речовин. Першочергово – важкі метали.

На основі отриманих даних щодо рівня забруднення сільськогосподарських земель прийняти рішення щодо можливості ведення сільського господарства і подальшого цільового використання.

Після проведення очищення ділянок від джерела забруднення та уламків, необхідно відновлювати ґрунти, пошкоджені вибухами.

Для відновлення ділянок, пошкоджених вибухами, необхідно зняти чи зчистити поверхневий шар ґрунту, оскільки окрім хімічного забруднення важкими металами, також вигорає родючий шар ґрунту, відбувається зневоднення і «стерилізація» — гинуть як патогенні мікроорганізми, так і корисна біота. Заорювання не дасть ефекту, тому що сама земля нежива в цьому місці. Якщо не зчищувати поверхневий забруднений шар, а механічно загорнути вирву бульдозерами та грейдерами, то відновлення родючості ґрунту триватиме десятки років із необхідністю серйозних інвестицій для внесення органічних добрив, меліорантів, фітомеліорації та ін. В подальшому, після вирівнювання поверхні пошкодженої ділянки, для відновлення її родючості можна здійснити розпушування ґрунтів для збільшення проникнення кисню і розвитку окисно-відновних реакцій, внести органічні і мінеральні добрива та посіяти трави з метою інтенсифікації природних процесів біохімічного очищення.

Для зняття та зчищення пошкодженого поверхневого шару ґрунту у вирві, яка утворилася внаслідок вибухів, рекомендовано використовувати робочий орган, який дозволить механізувати даний процес.



Для утилізації знятого забрудненого шару ґрунту можна використовувати гнучкий гвинтовий конвеєр з секційним шнековим робочим органом, який дасть можливість перевантажити його у кузов вантажівки.

Таким чином можна здійснити технічну рекультивацію земель, яка передбачає спочатку очищення воронок від пошкодженого та забрудненого ґрунту важкими металами та іншими небезпечними речовинами. Після цього необхідно здійснити засипання воронок, тобто вирівнювання поверхні. Далі на цій земельній ділянці можна проводити дискування та культивування, а за необхідності – оранку.

УДК 378.091.12:62-051

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ ДО ПРОФЕСІЙНОГО САМОРОЗВИТКУ НА ОСНОВІ ДІАГНОСТИЧНИХ МЕТОДИК**

**М. М. БОНДАР**, к.пед.н., доцент кафедри будівництва та опору матеріалів,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

### **Анотація**

*У доповіді розглядається проблема професійного саморозвитку майбутніх інженерів як ключового чинника їхньої конкурентоспроможності та готовності до викликів сучасного виробництва. Метою дослідження є визначення рівня готовності студентів технічних спеціальностей до професійного саморозвитку на основі діагностичних методик. У роботі використано комплекс інструментів для оцінювання мотиваційних, когнітивних та поведінкових компонентів готовності. Отримані результати дозволяють окреслити сильні та слабкі сторони підготовки майбутніх інженерів, а також виокремлено рекомендації щодо удосконалення освітнього процесу.*

**Ключові слова:** *інженерна освіта; професійний саморозвиток; мотиваційні чинники; діагностичні методики; рівень готовності.*

У сучасних умовах інтеграції інноваційних технологій (GPS, IoT, AI, роботизована техніка) професійна діяльність інженера потребує не лише знань, а й готовності до неперервного саморозвитку. Для оцінки професіоналізму майбутнього інженера головним є саме рівень готовності. Це важливо, бо здатність показує лише потенціал («можу»), а готовність — його практичну реалізацію («буду робити»). Проте, без мотивації й самодисципліни знання залишаються нереалізованими.

Сформована система оцінювання включає когнітивний, мотиваційний та поведінковий блоки, що забезпечує комплексне бачення готовності

майбутнього інженера. Кожен блок має власні критерії та рівні оцінювання, які дозволяють диференціювати студентів за проявами знань, мотивації та самодисципліни.

Результати діагностики: «Середня готовність» — 8 студентів (40%). «Висока готовність» — 10 студентів (50%). «Повна готовність» — 2 студенти (10%). Таким чином, 60% студентів групи мають високий і повний рівень готовності до професійного саморозвитку, що свідчить про позитивну тенденцію, але водночас вказує на потребу підтримки студентів із середнім рівнем. Індивідуальні профілі: аналіз діаграм показав різні типи співвідношення блоків: когнітивне домінування, мотиваційний імпульс, поведінкова стабільність, збалансований профіль. Це підтверджує необхідність індивідуалізації освітнього впливу.

Педагогічні висновки: студенти з високими знаннями, але низькою мотивацією потребують мотиваційної підтримки та розвитку самодисципліни. Студенти з сильною мотивацією, але слабшими знаннями — додаткових навчальних модулів і практичних завдань. Гармонійні профілі можуть бути використані як ресурс для групи (наставництво, проєктна діяльність). Система діагностики стає не лише інструментом оцінки, а й програмою розвитку, що дозволяє викладачеві спрямовувати освітній вплив на конкретні компоненти.

Формування готовності майбутніх інженерів до професійного саморозвитку слід розглядати як цілісний процес, у якому головним якісним показником у комплексній оцінці професіоналізму виступає саме готовність до саморозвитку. Вона є не лише індикатором внутрішньої зрілості студента, а й одночасно визначає мету результативного навчального процесу у вищому навчальному закладі. Центальною складовою цього процесу завжди була і залишається самостійна навчально-наукова діяльність студентів, яка забезпечує перехід від потенціалу до практичної реалізації. Ефективність такої діяльності значною мірою залежить від використання технологій особистісно орієнтованого та розвивального навчання, що створюють умови для індивідуалізації освітнього впливу, розвитку мотивації, формування навичок самодисципліни та інтеграції нових знань у професійну практику. Таким чином, готовність до професійного саморозвитку постає як інтегральний критерій, який визначає успішність підготовки інженера до викликів сучасного виробництва.

### **Список використаних джерел**

1. Артюх, Світлана Миколаївна, and Анастасія Валентинівна Артюх. "Дослідження професійних вмінь, що визначають успішність навчання майбутніх здобувачів інженерних спеціальностей." Педагогічна Академія: наукові записки 19 (2025).
2. Бондар М. М., Журавська Л. М., Остапенко Е. О. Трансформація самостійної навчальної діяльності у готовність до професійного саморозвитку

засобами технологій особистісно орієнтовного навчання. Монографія. Ніжин: Аспект - Поліграф. – 2016. - 750 с.

3. Дуганець, Віктор Іванович, Анастасія Василівна Поліщук, and Валентин Миколайович Філенко. "Основні шляхи професійного самовдосконалення викладачів фахових дисциплін аграрно-інженерних спеціальностей." Педагогічна Академія: наукові записки 14 (2025).

4. Кузьміна І.П. Структура професійної ідентичності майбутніх фахівців технічного профілю. Технологія розвитку інтелекту. 2015. Т. 1. Вип 9.

5. Панченко, О. І. "Педагогічні умови формування професійного мислення майбутніх інженерів-механіків." Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах 40 (2015): 241-248.

6. Шаполова, Вікторія, et al. "Самоосвітня компетентність в професійній підготовці майбутніх бакалаврів машинобудівних спеціальностей: теоретичні та практичні аспекти." Теорія і практика управління соціальними системами 1 (2025): 69-81.

7. Engineer. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/engineer/> – Назва з екрану.

8. Engineering: Overview of How to Become a Professional Engineer. – Режим доступу: [http://study.com/articles/Engineering\\_Overview\\_of\\_How\\_to\\_Become\\_a\\_Professional\\_Engineer.html](http://study.com/articles/Engineering_Overview_of_How_to_Become_a_Professional_Engineer.html). – Назва з екрану.

9. What skills do I need to develop to become an effective engineer? – Режим доступу: <http://tryengineering.org/ask-expert/what-skills-do-i-need-develop-becomeeffective-engineer>. – Назва з екрану.

**УДК 631.3; 629.3.014**

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗДІЙСНЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПОШКОДЖЕНИХ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**С. І. КОВАЛЬЧУК, Ph.D.**

***Національний університет біоресурсів і природокористування України***

Щоб проаналізувати наскільки пошкоджено ґрунти, необхідно оцінити тип та ступінь забруднення на кожній окремій ділянці. На основі цих даних далі необхідно визначати рівень їхньої придатності та найоптимальніші способи відновлення. Деякі можуть виявитися цілком придатними та потребувати лише прибирання. Інші ж постраждали настільки, що вести на них будь-яку діяльність найближчим часом буде неможливо. У такому разі потрібно відновлювати рельєф земель сільськогосподарського призначення, вирівнювати

та рекультивувати, тобто повернути ґрунту здоровий баланс та родючість. Це можна здійснити двома способами відновлення: штучно або природно. Природний спосіб – це консервація, тобто тимчасове припинення будь-якої господарської діяльності на землі, щоб дати їй час відновитися природно. При цьому найцінніші із законсервованих земель можна вносити до природно-заповідного фонду. Це дозволить їй ефективніше ними управляти, й збільшити частку заповідних територій в Україні. Консервація рекомендується для найбільш пошкоджених земель (тобто таких, де більш ніж на 75% від площі ділянки є пошкодження), адже вартість рекультивації для пошкоджень такого рівня є настільки високою, що вже не є економічно доцільною. Якщо ж пошкодження складає 50–75 % площі ділянок, то земля підлягає рекультивації. У разі штучного способу рекультивації – це використання технологій, що повернуть ґрунту здоровий баланс та родючість. Можна промити ґрунт речовинами (хімічне вилуговування), що знищать забруднення, або можна висадити рослини, які поглинатимуть забруднення й так очищуватимуть землю тощо. Здійснення рекультивації пошкоджених і забруднених земель хімічним вилуговуванням та вирощуванням технічних, енергетичних культур, так і продовольчих, буде надто затратною для фермерів, адже їх продукція при цьому не має потрапляти до продовольчого ланцюга. Хімічне забруднення ґрунтів безпосередньо впливає на умови росту і розвитку кореневої системи рослин.

На прикладі одного із досліджень: за 10-кратного перевищення фону важких металів (свинцю, кадмію та цинку) пшениця озима втрачала 4% врожаю (не критично!), а за 100-кратного — 81% (немає сенсу вирощувати!). «Як відомо, соняшник і кукурудза «втягують» чимало різних елементів із ґрунту. Тому вони загалом придатні для рекультивації забруднених після воєнних дій земель. Однак у разі такого застосування потрібен контроль над тим, аби вони не «перетиналися» з продовольством, а використовувались для інших потреб.

Загалом перелік культур для фіторе mediaції досить широкий, проте залишається відкритим питання подальшої утилізації рослинних решток із високим вмістом забруднювача. Здійснити рекультивацію пошкоджених і забруднених земель можна механічно. Для цього необхідно зняти чи зчистити пошкоджений шар ґрунту у вирві. Якщо на поверхні воронки виявлено небезпечну концентрацію важких металів та інших небезпечних речовин, то знятий забруднений шар ґрунту необхідно утилізувати. Якщо знятий шар поверхні вирви містить допустиме значення концентрації забруднювальних речовин, то зчищений шар можна залишити на дні воронки.

Тому відновлення та забезпечення умов збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення України, зруйнованих воєнними діями в даний час, є дуже гострою, глобальною та актуальною проблемою для усього сільського господарства.

УДК 631.3; 629.3.014

## ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ НА ГРУНТОВИЙ ПОКРИВ

**М. І. БУДЗАНІВСЬКИЙ**, аспірант

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

Унаслідок воєнних дій найбільш руйнівного впливу зазнає аграрний сектор економіки, а саме: пошкодження й знищення родючого шару ґрунту внаслідок детонації різного роду вибухових предметів і переміщення військової техніки та забруднення його шкідливими речовинами, які містяться у вибуховій речовині та паливно-мастильних матеріалах, засмічення земель знищеною військовою технікою, залишками фортифікаційних споруд, уламків деревини тощо. Крім безпосередньої руйнації ґрунтового покриття від детонації ракет, авіабомб, артилерійських снарядів та інших вибухових предметів, значну територію земель сільськогосподарського призначення заміновано, на якій неможливо проводити сільськогосподарські роботи. Кожен вибух снаряду на полі утворює вибухову хвилю і хімічне забруднення, тобто утворюється вирва, ущільнення ґрунтів та знищення рослинності. Ґрунт, що залишається на місці удару не тільки турбулізується, піддається динамічному ущільненню, а також містить численні металеві уламки з залишками вибухових токсичних речовин, тобто відбуваються погіршення фізичних властивостей ґрунтів, зміни гранулометричного складу, ущільнення та знеструктурнення ґрунтів. Вирви від вибухів та територія навколо вирв, залежно від радіусу розльоту уламків, забруднені важкими металами (нікелем, цинком, свинцем, кадмієм, міддю та ін.). Під час вибухів ракет та авіабомб забруднюється не лише повітря. Шкідливі речовини довго не тримаються в повітрі, а повертаються у вигляді опадів і накопичуються у ґрунтах. Небезпечні речовини потрапляють через ґрунт у воду чи рослини, які на ньому вирощуються, ці забруднюючі речовини можуть мігрувати в довкіллі та накопичуватися в організмі рослин і тварин. Продукція, вирощена на таких землях, може бути небезпечною для вживання, тож такі землі потребують відповідних до рівня забруднення заходів: рекультивації чи навіть консервації.

Щоб проаналізувати наскільки пошкоджено ґрунти, необхідно оцінити тип та ступінь забруднення на кожній окремій ділянці. На основі цих даних далі необхідно визначати рівень їхньої придатності та найоптимальніші способи відновлення. Деякі можуть виявитися цілком придатними та потребувати лише прибирання. Інші ж постраждали настільки, що вести на них будь-яку діяльність найближчим часом буде неможливо. У такому разі потрібно відновлювати рельєф земель сільськогосподарського призначення, вирівнювати та рекультивувати, тобто повернути ґрунту здоровий баланс та родючість.



УДК 631.3; 629.3.014

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ШКОДИ ТА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ ЗЕМЛЯМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ**

**В. В. МАРТИНЮК**, аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В Україні внаслідок війни зазнали пошкодження понад 5 млн гектарів орних земель. Вирви від вибухів, окопи, токсичні речовини від польоту ракет і рух важкої техніки — це все впливає на якість ґрунтів та продукти, які ми вирощуємо. Під час вибухів та роботи військової техніки у ґрунти потрапляє велика кількість токсичних речовин — зокрема, вибухові речовини та важкі метали. Відбувається хімічне пошкодження ґрунту.

Розрізняють чотири типи руйнування ґрунтів. Механічне — зміна структури ґрунтового покриву. Вона відбувається, коли родючий шар руйнується або змішується з іншими шарами через риття окопів, траншей. Після таких змін ґрунт втрачає свої родючі властивості, гірше утримує вологу та стає менш придатним для вирощування врожаю. До механічного забруднення також призводить рух військової техніки — ґрунт ущільнюється та стає більш посушливим. Другий тип — фізичне забруднення — зміна властивостей ґрунтів. Військова техніка спричиняє вібрації, а вибухи чи пожежі, крім прямих руйнувань, порушують температурний режим, який визначає вологозабезпеченість рослин. Третій — хімічне — відбувається внаслідок витоку палива, продуктів горіння, що осідають на ґрунт з повітря, і токсин від вибухових речовин у снарядах. Проте вибух боєприпасу — це не лише хімічне забруднення, а й механічне. Вибухова хвиля призводить до ерозії ґрунтів, що надалі загострює питання зміни клімату та адаптації до неї. Четвертий тип — біологічне — загибель всього живого в ґрунті, в першу чергу мікробіоти, яка відповідає за його здоров'я та родючість. Вона гине як від переущільнення ґрунту, теплових ударів, руйнування горизонтів ґрунту, так і від вибухонебезпечних токсичних речовин.

Поєднання різних чинників впливу призводить до виникнення кумулятивного негативного ефекту. Наслідками є втрата буферної здатності ґрунтів до відновлення, втрата гумусу і зниження природної родючості.

Речовини, які потрапляють у ґрунт під час вибухів, без спеціальної обробки ділянки залишаються у вирві. Якщо не провести заходи повоєнного відновлення, ми отримаємо ґрунти з підтопленням, засоленням, ерозійними процесами тощо. Це може беззаперечно призвести до руйнівних наслідків в рослинництві, порушення ґрунтового покриву, дефіциту природного зволоження, опустелювання, розвиток вітрової та водної ерозії.

УДК 631.372

## RESEARCH IN DYNAMIC TRANSITIONAL PROCESSES OF FUNCTIONING OF COMBINE HARVESTER HYDRAULIC DRIVES

**Vadym YAREMENKO**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

An analysis of perspective methods is made for diagnosing hydraulic drives, based on the on-board automated tools. Prospects are substantiated for the development of technical diagnostics of agricultural machinery on the basis of on-board electronic means. Special attention is paid to the need for significant research in the direction of creating new diagnostic parameters, adapted to these means, and methods of their measurement. The parameters of the characteristics of changes in the pressure of the working fluid in the hydraulic aggregates in transitional modes of operation of the hydraulic drives are advisable to be used as diagnostic, since the veracity (accuracy) of the parameters, based on them, is not less than 95%. As an example, a method of diagnosing on dynamic transitional modes of operation of the hydraulic drives is given, which is the basis for the development and use of built-in and portable electronic means for conducting CIP diagnostics, which will provide 2-3 times decrease in the labour intensity and the cost of work with at least 85% veracity of diagnosis and the permissible error measurements no more than  $\pm 4\%$ . The novelty of this work lies in the method we have developed for diagnosing the dynamic transient modes of operation of hydraulic drives [1,2,4,6].

The conducted theoretical studies formulated hypotheses of possible methods for diagnosing hydraulic drives and developed diagnostic models of structural and functional relationships of the interaction of internal and external input and output parameters of hydraulic units. To confirm theoretical studies and the validity of the obtained dependences, experimental studies were carried out. The following experimental studies were carried out: determination of the nature of changes in the structural parameters of parts and their influence on the parameters of the technical state of hydraulic units; a physical model of equipment for laboratory research of static and dynamic modes of functioning of hydraulic drives of combines has been developed and manufactured; a method for measuring the parameters of the functioning of hydraulic drives in static and dynamic modes has been developed; the regularities of changes in the parameters of the technical state of hydraulic units and their influence on the performance indicators of the hydraulic mechanisms of combines are established; a methodology for assessing the results of technical diagnostics of hydraulic drives has been developed; determination of diagnostic parameters of objects to be diagnosed and construction of algorithms for finding failures and determining the technical state of hydraulic drives as a whole and their components. After determining the parameters and constructing graphs of the empirical distribution of wear on the surfaces of parts, the empirical distribution was

aligned according to the laws of theoretical distribution. Most of the hydraulic drives can be represented by a diagram (Fig 1).

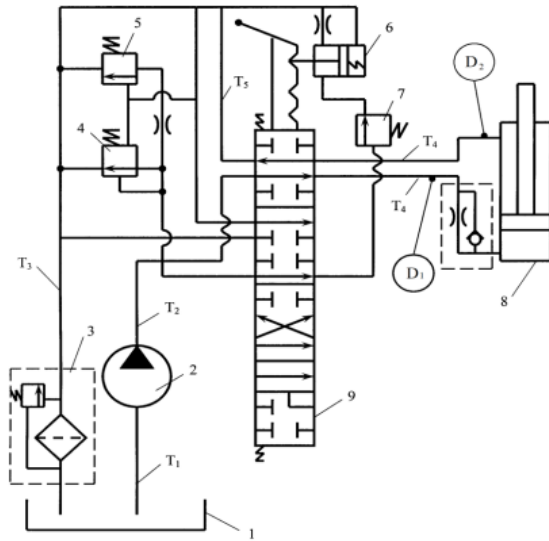


Fig. 1. Schematic diagram of the hydraulic drive and the place of connection of the sensors for fixing the diagnostic signals in transitional modes of operation: 1 – tank; 2 – pump; 3 – filter; 4 – distributor bypass valve; 5 – distributor safety valve; 6 – device for fixing the spool in working positions; 7 – booster valve; 8 – hydraulic cylinder; 9 – distributor spool; D1 – pressure sensor at the inlet to the hydraulic cylinder; D2 – pressure sensor at the outlet of the hydraulic cylinder

It has been experimentally established that the change in the volumetric efficiency of the hydraulic drive from 0.90 to 0 leads to the following changes in the pressure parameters of the working fluid in case the piston of the hydraulic cylinder stops: the maximum pressure of the working fluid ( $P_2$ ) decreases from 16.50 MPa to 8.90 MPa; the pressure ( $\Delta P_1$ ) decreases from 15,95 MPa to 8.39 MPa; the time of the pressure increase ( $\Delta t_1$ ) increases from 0.065 s to 0.190 s; the time of the pressure decrease ( $\Delta t_2$ ) changes from 4 s to 160 s, (Fig. 2, Fig. 3).

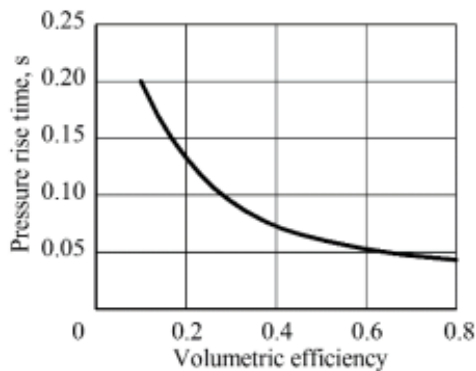


Fig. 2. Dependence of the time ( $\Delta t_1$ ) of the pressure increase of the working fluid in the cavity of the hydraulic cylinder in the case when the movement of the piston stops upon the volumetric efficiency

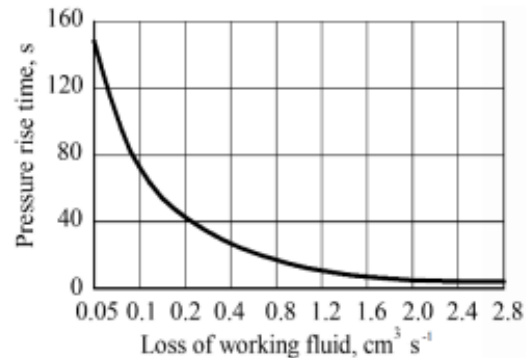


Fig. 3. Dependence of the pressure decrease time of the working fluid in the cavity of the hydraulic cylinder ( $\Delta t_2$ ) from 10 MPa to 5 MPa upon the losses of the working liquid ( $\Delta Q_2$ ) in the interfaces between the distributor valve body and the piston with the body and rod of the hydraulic cylinder body; the valve spool is set to the position "Neutral"

Checking the results of the oscillography of the dynamic process in the transitional modes indicates that the reliability of the technical parameters of the characteristics of the change in the pressure of the working fluid is at least 95%. In

addition, the labour intensity of express diagnostics, in the case the built-in or portable electronic diagnostic tools are used, for these diagnostic parameters is more than 0.06 man-hours, which is 3-4 times less than diagnostics by the mechanical means. An analysis of the relevant technical literature of countries with developed mechanical engineering [1,2,3,4,5,6] shows that the proposed method for diagnosing hydraulic drives based on the characteristics of changes in the pressure of the working fluid in hydraulic units (in the event of a stop or change in the direction of movement of moving parts and the flow rate of the working fluid) is especially relevant to improve the technical readiness of agricultural machinery and reduce the maintenance and repair costs. This method can be the basis for the development and application of built-in and portable electronic tools for conducting CIP diagnostics, which provide a reduction in the maintenance and repair costs.

### **Conclusions.**

1. The parameters of the characteristics of changes in the pressure of the working fluid in the hydraulic aggregates in transitional modes of operation of the hydraulic drives are advisable to be used as diagnostic, since the veracity (accuracy) of the parameters, based on them, is not less than 95%.
2. The method of diagnostics in the dynamic transitional modes of the hydraulic drives of operation is the basis for the development and application of the built-in and portable electronic means for conducting CIP diagnostics, which will ensure a 2-3 times decrease in the labour intensity and cost with the veracity of the diagnosis not less than 85% and the permissible measurement error not more than  $\pm 4\%$ .

### **References**

1. Viesturs D., Kopiks N. Investigations in suitability of fleet of combines for timely harvesting. *Engineering for Rural Development*, 2016, pp. 681-686.
2. Piramatov U.A., Pugin K.G. Improving the efficiency of existing methods of diagnosing the hydraulic drive of road-building machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 786(1), 2020, art. 012007.
3. Wang F., Zhang H., Xu B., Stelson K.A. Steady-State Characteristics Study of a Power Split Hydraulic Transmission. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 26(1), 2021, art. 9113430, pp. 78-89.
4. Bao Y. Working principle and precautions for the use of grain combine harvester. *Agricultural Machinery Use and Maintenance*. 2018, p 54.
5. Wang, H., Shen, H., Cao, S. Hydraulic System Design of Combined Harvester Header and Simulation of Header Lifting System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 233, Issue 3, 2019, Article number 0320122018.
6. 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*. Vol.61 (2), 2020, pp.9-16.

УДК 631.358:631.331.5

## ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОПУВАЧІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ

Д. С. ПОЛІЩУК, аспірант

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

Вирощування моркви як однієї з основних овочевих культур в Україні та країнах Європейського Союзу характеризується стабільним попитом і високими вимогами до якості продукції. Сучасні ринки орієнтовані не лише на валовий збір, а й на збереження товарного вигляду коренеплодів, мінімізацію механічних пошкоджень, забезпечення однорідності та придатності до тривалого зберігання. У структурі технологічного процесу збирання вирішальну роль відіграють викопувальні робочі органи, які безпосередньо контактують із ґрунтом і коренеплодами.

Конструкція викопувача має враховувати морфологічні особливості моркви (подовжена форма, відносно невеликий діаметр, глибоке залягання у ґрунті), фізико-механічні властивості ґрунту, вологість, щільність орного шару та наявність рослинних решток. Невідповідність геометричних параметрів або кінематичних режимів роботи призводить до обламання верхівки, тріщин або надмірного забруднення продукції. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється біонічному моделюванню робочих поверхонь та оптимізації геометрії лемішів із використанням методів комп'ютерного моделювання і дискретно-елементного аналізу [1].

Крім того, тенденції 2023–2026 років у сільськогосподарському машинобудуванні пов'язані з розвитком енергоощадних технологій, точного землеробства та автоматизації керування агрегатами. Це безпосередньо впливає на модернізацію конструкції викопувачів – від форми робочої частини до інтеграції систем стабілізації глибини ходу та автоматичного ведення рядка [2]. Вітчизняні розробки також спрямовані на підвищення універсальності та адаптивності викопувальних пристроїв до різних ґрунтово-кліматичних умов України [3].

Метою роботи є узагальнення та аналіз основних конструкційних особливостей викопувачів робочих органів для коренеплодів моркви з урахуванням сучасних європейських та українських наукових досліджень 2023–2026 років, а також визначення перспективних напрямів їх удосконалення.

У процесі підготовки дослідження використано методи аналізу та синтезу наукових публікацій, порівняльний аналіз конструктивних рішень, а також узагальнення результатів експериментальних досліджень, наведених у сучасних європейських працях. Особливу увагу приділено результатам чисельного моделювання взаємодії «робочий орган – ґрунт – коренеплід» із використанням



дискретно-елементного підходу [1], а також аналізу інженерних рішень щодо автоматичного копіювання рядків і стабілізації глибини підкопування [2].

Крім того, враховано конструктивні особливості вітчизняних викопувальних пристроїв, запропонованих українськими розробниками, що адаптовані до умов середньосуглинкових і важких ґрунтів [3].

Аналіз сучасних конструкцій показав, що основними типами викопувальних робочих органів для моркви є лемішні, вібраційні та комбіновані викопувачі. Найбільш поширеним є лемішний тип, який забезпечує підрізання ґрунтового пласта на заданій глибині з подальшим його підняттям і розпушуванням. Геометрія лемеша (кут атаки, радіус кривизни, ширина захвату) визначає величину тягового опору та ступінь пошкодження коренеплодів.

Європейські дослідження демонструють ефективність застосування біонічних профілів робочої поверхні, запозичених із природних форм (наприклад, поверхонь, що імітують структуру тіла ґрунтових організмів), що дозволяє зменшити опір ґрунту та енергоспоживання машини [1]. Оптимізація параметрів викопувального лемеша за допомогою дискретно-елементного моделювання дає змогу визначити раціональне співвідношення між глибиною підкопування та швидкістю руху агрегату, мінімізуючи втрати та пошкодження.

Важливою конструкційною особливістю сучасних викопувачів є наявність регульованих опорних елементів, які забезпечують стабільність глибини ходу навіть за змінної щільності ґрунту. Додатково застосовуються системи автоматичного ведення по рядку, що підвищують точність роботи агрегату та зменшують ймовірність підрізання коренеплодів [2]. Такі системи інтегруються з датчиками положення та електронними блоками керування, що відповідає концепції цифрового землеробства.

Українські розробки спрямовані на вдосконалення конструкції ножів і підкопувальних пластин шляхом підвищення їх зносостійкості та оптимізації кута нахилу. Запропоновані технічні рішення передбачають змінні робочі елементи та можливість швидкого регулювання параметрів залежно від агрофону [3]. Це дозволяє підвищити універсальність машини та зменшити витрати на обслуговування.

Окрему увагу в сучасних дослідженнях приділяють кінематичним режимам роботи. Збільшення швидкості руху агрегату без коригування геометрії лемеша призводить до зростання динамічних навантажень і травмування продукції. Тому актуальним є поєднання конструктивної оптимізації з вибором раціональних швидкісних режимів.

Також важливим напрямом є інтеграція викопувачів у складі комбінованих збиральних машин із системами первинного очищення. Конструкція робочого органа має забезпечувати рівномірну подачу вороху на очисні механізми без перевантаження та з мінімальним засміченням.

Таким чином, сучасні конструкційні рішення характеризуються комплексним підходом: поєднанням геометричної оптимізації, використанням цифрового моделювання, автоматизованого керування та адаптивності до різних ґрунтових умов.

#### **Висновки.**

1. Основними конструкційними параметрами викопувачів для моркви є форма та геометрія лемеша, кут атаки, ширина захвату та глибина підкопування, які визначають енергетичні показники та рівень пошкодження коренеплодів.

2. Перспективним напрямом удосконалення є застосування біонічних профілів і чисельного моделювання для зниження тягового опору та оптимізації режимів роботи.

3. Інтеграція систем автоматичного ведення рядка та стабілізації глибини підкопування підвищує точність технологічного процесу та відповідає сучасним вимогам цифрового землеробства.

4. Вітчизняні розробки спрямовані на підвищення адаптивності конструкцій до українських ґрунтово-кліматичних умов і зменшення експлуатаційних витрат.

Отже, розвиток конструкції викопувальних робочих органів для моркви у 2023–2026 роках характеризується переходом від традиційних рішень до інженерно оптимізованих, енергоефективних та інтелектуалізованих систем, що забезпечують підвищення якості збирання та конкурентоспроможності продукції.

#### **Список використаних джерел**

1. Chen R., Cai J., Li G. Advancing agricultural automation: innovative product design and research for carrot harvesters: Proc. of the 3rd Int. Conf. on Art Design and Digital Technology (ADDT), Luoyang, May 24-26, 2024. EAI, 2024. DOI: 10.4108/eai.24-5-2024.2350090.

2. Мацуєв О. М. Удосконалення пристрою для очищення викопаних з ґрунту коренеплодів моркви від ґрунтових домішок та рослинних решток // Зб. тез XII Міжнарод. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання...», Київ: НУБіП України, 2025. С. 195–197.

3. Комбайнування моркви // Agrotimes.ua, 2024. Електрон. дані. URL: [https://agrotimes.ua/article/kombajnuvannya-morkvi/?utm\\_source](https://agrotimes.ua/article/kombajnuvannya-morkvi/?utm_source) (станом на 2026 р.).

УДК: 631.356.2

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ ЦИКОРІЮ

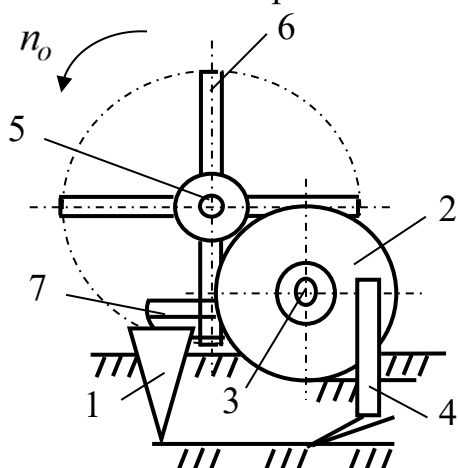
О. О. ТРУХАНСЬКА, канд. техн. наук, доцент

М. Ю. ГАДАЙЧУК, аспірант

*Вінницький національний аграрний університет**E-mail: seaswallow@ukr.net*

У технологічному процесі виробництва коренеплодів цикорію кореневого, який є цінною лікарською, харчовою, технічною та кормовою культурою, однією з найбільш трудомістких операцій є механізоване збирання, на яке припадає близько 50...60 % усіх затрат праці.

Причиною зменшення виробництва коренеплодів цикорію є недосконалість копачів для їх викопування та невідповідність показників якості роботи копачів агротехнічним вимогам.



Загальну конструктивну схему комбінованого копача для викопування коренеплодів цикорію наведено на рис. 1.

Копач складається із встановленого на рамі (на рис. 1 не показано) під кутом до осі рядка коренеплодів 1 сферичного диска 2, який вільно посаджені на своїй осі обертання 3.

Позаду за диском встановлено розрихлювач 4, який виконано у вигляді стрілкової лапи, глибина ходу якої адекватна, або відповідає глибині залягання

коренеплодів цикорію у ґрунті.

При цьому стояк лапи змонтовано на вібраційній пружній підвісці. За допомогою снічі копач навішується на начіпну систему трактора. Над диском встановлено приводний вал 5 з очисними пружними елементами 6. У передній частині сферичного диска встановлено корененапрямник 7.

Під час руху агрегату вздовж рядків коренеплодів 1, розрихлювач 4 руйнує зв'язки коренеплодів з ґрунтом навколо периферії його залягання в ґрунтовому середовищі, при цьому одночасно очисні елементи 6 очищують головки коренеплодів від залишків гички, а коренеплоди цикорію викопуються сферичними дисками 2 та укладаються на поверхню ґрунту.

Моделювання процесів викопування коренеплодів цикорію із одночасним відокремлення залишків гички на їх головках робочими органами копачів залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей гички, сорту

коренеплодів, типу їх поверхні, характеру навантажень для руйнування даних зв'язків тощо.

При проведенні польових експериментальних досліджень комбінованого копача буде досліджено:

- зміну коефіцієнта втрат коренеплодів цикорію  $k_v$  після їх викопування комбінованим копачем залежно від зміни двох факторів:

- довжини зламу хвостової частини тіла коренеплоду  $4 \leq h_k \leq 10$  см;

- коефіцієнта кількості  $0,1 \leq \lambda_k \leq 0,5$  зламаних хвостових частин викопаних коренеплодів;

- зміну основних показників якості роботи комбінованого копача – втрат коренеплодів  $w_k$  цикорію, загальних домішок  $z_d$  у викопаному воросі коренеплодів, залишків гички  $z_g$  на головках коренеплодів, пошкодження коренеплодів  $p_k$  залежно від зміни трьох факторів:

- поступальної швидкості руху коренезбиральної машини  $1,2 \leq V_k \leq 1,8$  м/с;

- глибини ходу підкопувальної лапи  $12 \leq a_k \leq 20$  см;

- частоти обертання  $220 \leq n_o \leq 660$  об/хв очисного вала комбінованого копача.

Дослідження коефіцієнта  $k_v$  і показників  $w_k$ ,  $z_d$ ,  $z_g$ ,  $p_k$  реалізували на основі побудованої структурної схеми моделі комбінованого копача (рис. 1) та проведення багатфакторного експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup> та ПФЕ 3<sup>3</sup>.

Схему моделі багатфакторного експерименту під час проведення досліджень з визначення коефіцієнта  $k_v$  і показників якості роботи комбінованого копача наведено на рис. 2.

Для одержання регресійних залежностей, які б характеризували зміну параметрів оптимізації залежно від зміни вхідних факторів, буде реалізовано дво- та трифакторні експерименти на трьох рівнях варіювання факторами, порядок проведення яких буде наступним.

1. Вводили кодовані й натуральні позначення кожного фактора та умовні позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно +1, -1, 0 для побудови план-матриці планування експериментів.

2. Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори  $h_k$ ,  $V_k$ ,  $\lambda_k$ ,  $a_k$  і  $n_o$  неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Результати кодування вхідних змінних факторів та рівні їх варіювання при проведенні експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта  $k_v$  і показників  $w_k$ ,  $z_d$ ,  $z_g$ ,  $p_k$ , або реалізації планованого факторного

експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup> і ПФЕ 3<sup>3</sup> наведено в табл. 1.

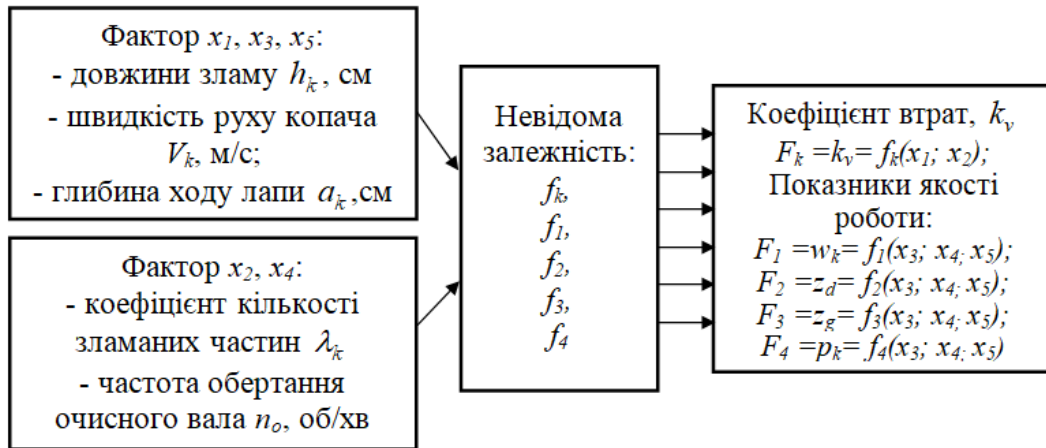


Рис. 2. Схема побудови моделі експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup> і ПФЕ 3<sup>3</sup>

Після кодування вхідних факторів складали план-матрицю експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup> і ПФЕ 3<sup>3</sup>.

Таблиця 1. Результати кодування та рівні варіювання факторів для експериментів типу ПФЕ 3<sup>2</sup> і ПФЕ 3<sup>3</sup>

| Фактори                                                                  | Позначення |       | Інтерв. варіюв. | Рівні варіювання, натур./кодовані |       |        |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|-------|-----------------|-----------------------------------|-------|--------|
|                                                                          | Натур.     | Код.  |                 |                                   |       |        |
| Довжини зламу, $h_k$ , см                                                | $X_1$      | $x_1$ | 3               | 10/+1                             | 7/0   | 4/-1   |
| Коефіцієнт кількості зламаних хвостових частин коренеплодів, $\lambda_k$ | $X_2$      | $x_2$ | 0,2             | 0,5/+1                            | 0,3/0 | 0,1/-1 |
| Швидкість руху копача, $V_k$ , м/с                                       | $X_3$      | $x_3$ | 0,3             | 1,8/+1                            | 1,5/0 | 1,2/-1 |
| Частота обертання лопаті, $n_o$ , рад/с                                  | $X_4$      | $x_4$ | 220             | 660/+1                            | 440/0 | 220/-1 |
| Глибина ходу підкопувальної лапи, $a_k$ , см                             | $X_5$      | $x_5$ | 4               | 20/+1                             | 16/0  | 12/-1  |

Коефіцієнт втрат  $k_v$  коренеплодів цикорію визначали за формулою

$$k_v = \frac{\sum_{j=1}^n m_{k_j}}{\sum_{i=1}^N M_{k_i}}, \quad (1)$$



де  $\sum_{j=1}^n m_{k_j}$  – загальна маса зламаних хвостових частин  $i$ -х коренеплодів ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), кг;  $\sum_{i=1}^n M_{k_i}$  – загальна маса викопаних  $i$ -х коренеплодів ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), кг.

Загальну масу домішок  $z_d$  викопаного вороху коренеплодів цикорію визначали як арифметичну суму всіх складових компонентів домішок, тобто

$$z_d = z_v + M_n + z_g + z_z, \quad (2)$$

де  $M_n$  – маса налиплого ґрунту, кг;  $z_v$  – маса вільних домішок, кг;  $z_z$  – маса залишків гички на головках коренеплодів, кг.

Втрати та пошкодження коренеплодів, кількість залишків гички на головках коренеплодів у відсотках визначали згідно стандартної методики.

### **Секція 3 *«Надійність технологічних систем у рослинництві»***

**UDC 631**

## **REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF PNEUMATIC GRAIN SEPARATOR OPERATION**

**Ye. M. KOBAN**, Postgraduate Student,  
**O. M. VASYLKOVSKIY**, Professor, Candidate of Technical Sciences  
*Central Ukrainian National Technical University*  
*E-mail: olexa74@ukr.net*

Pneumatic separation represents one of the important stages of post-harvest processing, ensuring the removal of foreign inclusions that differ from the main crop in their aerodynamic characteristics.

Analysis of the existing technical equipment in the industry reveals a number of problems that limit the efficiency of air grain cleaning. First and foremost, traditional aspiration systems are characterized by high specific energy consumption, which accounts for 40-50% of the total energy consumption of grain cleaning machines [1, 2]. The air flow velocity for different grain crops varies depending on the physical and mechanical properties of the material.

Classical vertical systems with ascending flow prove to be the most energy-intensive, where the principle of direct separation of light particles is used. This requires the creation of high air velocity values close to the floating velocity of the grain of the main crop, which results in significant energy expenditure.

In the context of constantly rising energy costs, this significantly affects the economic efficiency of the processing operation.

Analysis of scientific literature allows identifying the main directions for minimizing energy costs for pneumatic grain separation:

- ensuring air recirculation through the organization of a closed aspiration system;
- optimization of geometric and aerodynamic parameters of the system to reduce losses and ensure uniformity of flow velocity distribution;
- application of the method of indirect separation of light impurities in horizontal or inclined channels, when the air flow does not lift particles but only deflects the trajectory of light particles. This allows a significant reduction in the required air velocity and, consequently, energy costs.

Based on the conducted analysis, a concept for an energy-efficient pneumatic separator [3] has been proposed that combines the advantages of all three directions for reducing energy intensity. The basic operating principle of the proposed design is the organization of free thin-layer movement of grain material with acceleration and the influence of air flow on it to deflect the trajectory of light impurities.

The original separator (Fig. 1) includes a loading hopper 1, a dosing device 2, an acceleration chute 3, a fan 4, a closed air channel 5, a damper-fraction divider 6, and receivers for cleaned grain 7 and light fraction 8.

The technological process is implemented as follows: after exiting the hopper, the grain mass moves downward with acceleration along the acceleration chute, while the flow thickness decreases to a single grain layer. In the zone of interaction with the air flow, the trajectory of light particles is deflected, after which the damper performs fraction separation.

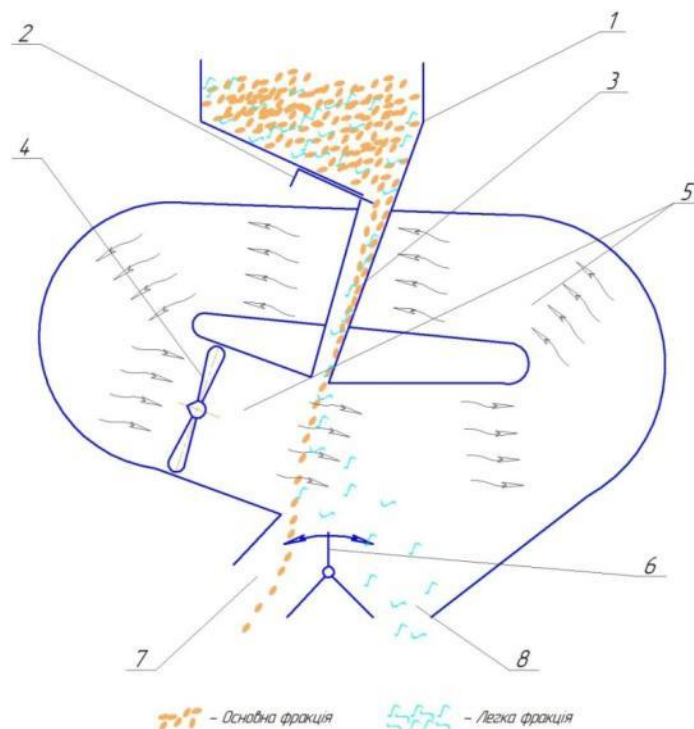


Fig. 1. Structural diagram of the air separator:

1- hopper, 2- doser, 3- acceleration chute, 4- fan, 5- closed channel, 6- damper-fraction divider, 7, 8- receivers for grain and light impurities.

The key element of the design is the acceleration chute, whose length and angle of inclination determine the possibility of creating a single-layer flow in the separation zone. Reducing the layer thickness to a minimum value allows for a significant reduction in resistance and creates optimal conditions for effective separation of light impurities at minimum air velocity.

The proposed structural scheme of a pneumatic separator with an acceleration chute and closed aspiration system creates prerequisites for a significant reduction in the energy intensity of the pneumatic grain separation process while maintaining satisfactory indicators of technological efficiency.

### References

1. B. I. Kotov, S. P. Stepanenko. (2023). *Osnovy teorii ta tekhnolohii povitrianoi separatsii zernovykh materialiv*. Monohrafiia. Kyiv: TsP Komprynt. 427 p. [in Ukrainian].
2. Nesterenko O. V., Leshchenko S. M., Vasylovskyi O. M., Petrenko D. I. (2017) Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Romania, 53 (3). 65-70.

3. Vasylovskiy M. I., Vasylovskiy O. M., Leshchenko S. M. (2007). Obhruntuvannia osnovnykh parametriv zamkненої dvokhstupenevoi pnevmoseparuiuchoї systemy ZOM. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. P. Vasylenka. Vyp. 59. S. 177-86. [in Ukrainian].

УДК 631.354.2

## ПРОДУКТИВНІСТЬ КОМБАЙНА ЗАЛЕЖНО ВІД ВТРАТ ЗЕРНА ЗА МОЛОТАРКОЮ

**О. В. НАДТОЧІЙ**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: mecallnow@gmail.com

Для ефективного використання наявного парку зернозбиральних комбайнів (ЗК) необхідно знати не тільки стартові конструктивні і експлуатаційні, техніко-технологічні показники і характеристики нових машин, але й закономірності їх зміни із збільшенням наробітку (терміну) експлуатації. На полях сільгоспвиробників України використовуються ЗК більше 100 марок, моделей, модифікацій всіх провідних виробників світу різних конструктивних схем із строком експлуатації від 1 до 30 років. Показники, заявлені виробниками, за цей термін експлуатації значно різняться, а тому недоцільні для подальшого планування роботи. Більшу достовірність можуть становити експериментальні дослідження техніко-економічних показників роботи зернозбиральних комбайнів.

Результат таких експериментальних досліджень та розрахунків приведені в таблиці 1. При ширині захвату жатки 7,6 м практична ширина змінювалася в загінці  $\pm 0,3$  м, робоча швидкість в межах  $\pm 200$  метрів. Заповнення бункера відбувалося по горизонту ємності  $\pm 250...300$  кг. Підконтрольними були ширина захвату жаткою, відносні втрати контролювалися за показниками монітора. Швидкість руху за спідометром, маса зібраного урожаю по квитанціях із господарської ваги. Кількісні втрати зерна комбайнів контролювалися спеціальними ящиками. Солома після обмолоту висипалася у валок.

У стабільному режимі роботи комбайна, контрольно-мірні ящики розмірами  $500 \cdot 200$  мм = 0,1 м закидалися по ходу комбайна з лівої сторони між переднім і задніми мостами під молотарку через відстань 5–6 метрів (5 штук) на відстані 25–30 метрів трьох кратної повторності з інтервалом в одну загінку тому, що комбайнер збирав пшеницю човниковим методом. Із збільшенням швидкості відстань між ящиками збільшилася до 8–10 метрів. Підрахунок кількості втрачених зерен в ящиках за молотаркою після проходу комбайна проводився в присутності керівника агрофірми, головного агронома і



бригадного агронома. За висновками агрономів підприємства нерівномірності урожайності на площі поля складала  $\pm 500$  кг/га. За такими оцінками допустимі числові втрати зерна могли складати 5–6 грам на 1 м<sup>2</sup> площі. При кількості 1000 зерен їх маса може складати 40–50 грам. Тобто на 1 грам в середньому приходить  $\approx 25$  зерен. Гранична кількість втрат на 1 м<sup>2</sup> площі при урожайності 5–6 т/га складатимуть 125–150 зерен, що складатиме 1% від валового збору. Результати досліджень приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Показники ефективності використання ЗК СН642.

| Показники                                           | Робоча швидкість, км/год |      |      |         |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------|------|---------|
|                                                     | 4,6                      | 5,9  | 6,6  | 7,6     |
| Середній термін наповнення бункера, хв              | 72                       | 57   | 51   | 42      |
| Зібрано за 1 год. чистого часу, га $W$              | 3,22                     | 4,13 | 4,62 | 5,40    |
| Зібрано за 1 год. чистого часу, т/год               | 7,2                      | 7,1  | 6,9  | 7,15    |
| Відносні втрати 1 м <sup>2</sup> , %, $\Delta U$ %  | 0,38                     | 0,68 | 0,91 | 1,23    |
| Числові значення, кількість, 1 м <sup>2</sup> , $m$ | 57                       | 102  | 136  | 188     |
| Пропускна здатність, кг/с, $q_i$                    | 6,49                     | 8,20 | 9,20 | 10,34   |
| Завантаження двигуна, %, $N$                        | 54                       | 67   | 74   | 83      |
| Продуктивність, %, $+\Delta W$                      | 100                      | +28  | ++12 | +++16,6 |

Аналіз експериментальних польових досліджень показав, що при робочій швидкості  $V_p = 4,6$  км/год середня тривалість роботи комбайна для наповнення 1 бункера складала 24 хвилини. За термін наповнення бункера необхідно було зібрати 1,29...1,32  $\approx 1,31$  га. За годину чистого часу збиралося 3,22 га. Числові значення механічних втрат за молотаркою на контрольний ящик площею (0,1 м<sup>2</sup>) від 9 до 13 зернин. (5 контрольних ящиків), в середньому  $\approx 57$  зернин на 1 м<sup>2</sup>. Розрахункові значення відносних втрат показали 0,38% від валового збору урожаю, а розрахункове значення пропускної здатності молотарки склало  $g = 6,49$  кг/с завантаження двигуна було в межах  $\approx 54\%$ .

При швидкості  $V_p = 5,9$  км/год (1,64 м/с) середня тривалість наповнення одного бункера понизилася до  $\approx 19$  хвилин. За годину чистого часу збиралась площа  $S = 4,13$  га/год; а намот підвищився до  $U_2 = 23$  тони. Числові значення механічних втрат за молотаркою на контрольний ящик знаходилися в межах від 95 до 105 зернин, середні 102 зернини. Пропускна здатність молотарки підвищилась до  $g = 8,2$  кг/с, відносні втрати підвищилися до значення 0,68%, завантаження двигуна підвищилося до  $\approx 67\%$  від  $N_H$ . Як наслідок, з підвищенням робочої швидкості продуктивність за 1 годину збільшилася на 28%.

При швидкості  $V_p = 7,7$  км/год (2,14 м/с) були отримані наступні результати експериментальних значень: середня тривалість наповнення бункера зерном склала  $\approx 14$  хвилин, за годину чистого часу збирання площа пшениці

$S = 5,40$  га, намолочувалося  $\approx 29$  тонн зерна, числові значення механічних втрат знаходилися в межах 180–190 зернин ( $\approx 188$  штук) на  $1\text{ м}^2$  (36...38 зернин) на контрольний ящик; відносні втрати збільшилися до значення 1,23% на  $1\text{ м}^2$ ; завантаження двигуна підвищилося до значення  $\approx 83\%$  від  $N_H$ ; Розрахункове завантаження молотарки збільшилося до  $g = 10,34$  кг/с від номінального значення (розрахункового) 12 кг/с.

При виконанні першого проходу висота стерні була в 15–20 см. Із збільшення швидкості руху при висоті зрізу  $< 15$  см виникала небезпека пошкодження ножа, механізму приводу, стола жатки від раптових динамічних навантажень на вимоїнах, ритвинах, гребнях. Тому для уникнення пошкоджень жатки і одночасно зменшення психологічного навантаження оператора було рекомендовано керівництву агрофірми підвищити висоту зрізу до 20–25 см. Такий захід дозволив зменшити попадання зеленої маси, що різко зростає із затягуванням строків жнив. Керівництво агрофірми погодилося із запропонованою методикою контролю механічних втрат та рекомендацією підвищити швидкість до  $V_p = 7,0$  км/год.

Ефективність експлуатації виявилася у покращенні наступних вагомих складових жнивування:

- змінної продуктивності по зібраній площі і масі урожаю на 30–35%;
- показників якості своєчасно зібраної культури;
- зменшення витрат палива через оптимальне завантаження двигуна комбайна на 15–20%;
- запобіганню біологічних втрат від осипання через затягування строків жнив в межах 8...14% від урожайності.

При плануванні термінів жнив необхідно враховувати строк експлуатації комбайнів і вносити поправки в показники продуктивності із врахуванням імовірного зниження показника технічного стану через коефіцієнт готовності.

### Список використаних джерел

1. Войтюк Д.Г. Моніторинг комбайнового ринку України (ч. 1) / Д.Г. Войтюк, О.В. Надточій, В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.А. Демко // Науковий вісник Національний університет біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 192–200.
2. Войтюк Д.Г. Моніторинг комбайнового ринку України (ч. 2) / Д.Г. Войтюк, О.В. Надточій, В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.А. Демко // Науковий вісник Національний університет біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 197–207.
3. Ломакин С.Г. Зерноуборочные комбайны: потребности покупателей – предложения производителей/ С.Г. Ломакин // Аграрное обозрение. – 2010. - №3.

4. Ерохин Г.И. Влияние автоматических систем контроля на эффективность использования комбайнов ДОН-1500 /Г.И.Ерохин, В. Коновский// Техника в сельском хозяйстве. – 2009. -№4 - С.29-30.

УДК 631.811: 681.3

## НАЯВНІСТЬ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН В ҐРУНТІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НОРМ ВНЕСЕННЯ МД

**О. В. НАДТОЧІЙ**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: mecallnow@gmail.com

Одним з найбільш важливих показників, що характеризують рівень і умови відтворення родючості, є вміст в ґрунті гумусу. Тому створювані при внутрішньогосподарчому землеустрої організаційно-територіальні умови землекористування повинні сприяти не стільки зростанню врожайності культур, інтенсифікації виробництва, але і неухильному підвищенню родючості ґрунту, підтримці в ньому позитивного балансу гумусу і збереженню його виробничої сили.

Процес мінералізації гумусу залежить від ряду чинників: генетичних особливостей ґрунту, кліматичних умов, інтенсивності обробок, структури посівних площ, рівня врожайності культур, застосування добрив тощо.

Рослини споживають з ґрунту 16 елементів:

- 3 макроелементи – азот (N), фосфор (P) і калій (K). Рослини споживають макроелементи в кількості від 30 кг до 300 кг/га по діючій речовині.
- мезоелемента – сірка (S), магній (Mg) і кальцій (Ca). Рослини споживають мезоелементи в кількості від 1 до 30 кг/га по діючій речовині.
- 10 мікроелементів – цинк (Zn), мідь (Cu), залізо (Fe), марганець (Mn), молибден (Mo), хлор (Cl), бор (B), натрій (Na), кремній (Si), кобальт (Co).

Рослини споживають мікроелементи в кількості від 0,01 міліграма до 1 кг/га по діючій речовині.

Наука та практика довели, що максимальна прибавка врожаю навіть при дотриманні науково - обґрунтованої агротехніки не перевищує 40 %. Тобто урожай на 60 % формується за рахунок природної родючості ґрунту. Доведено практикою і науково обґрунтовано, що коливання врожаю від ґрунтово-кліматичних умов можуть бути плюс мінус 30 %. Тому при визначенні кількості добрив для виробництва певної сільськогосподарської культури доцільно дотримуватись принципу оптимізації, тобто при плануванні урожайності потрібно враховувати середньо-багаторічні ґрунтово-кліматичні умови конкретного поля. Перш за все, необхідно визначити наявність поживних

речовин (легко-гідролізованого азоту, рухомих сполук фосфору та обмінного калію у мг на 100 гр. ґрунту оброблюваної площі поля) і на основі цього розраховується максимально можливий ресурсний врожай.

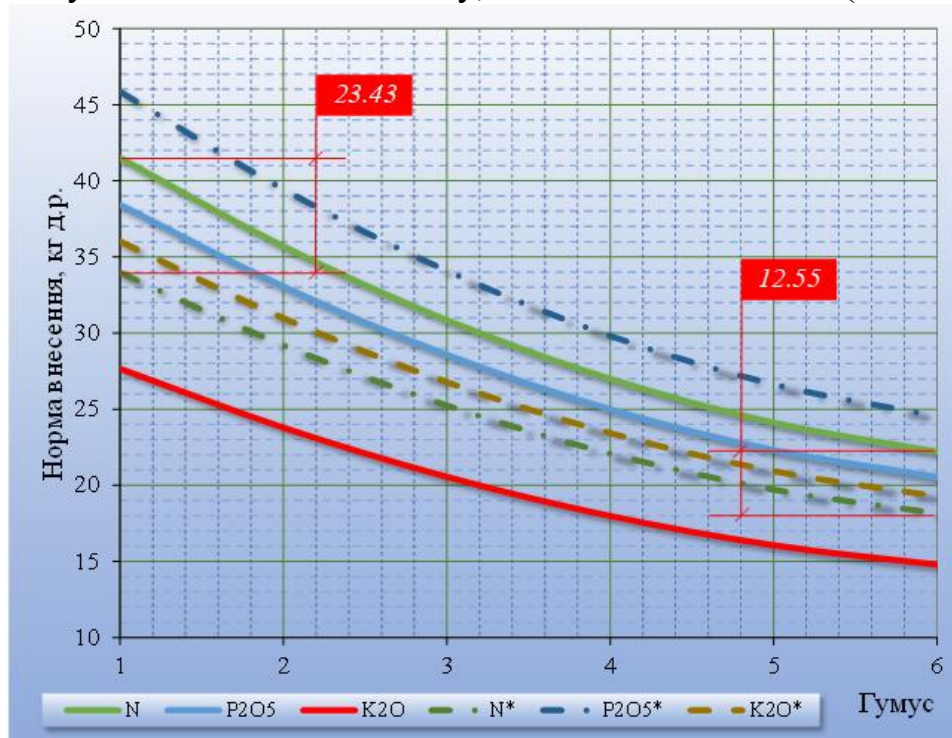
Пояснити модель розрахунку можна на прикладі:

*Аналізом ґрунту встановлено, що в полі відповідної сівозміни, для якого виконуються розрахунки, планується отримати 50 ц/га зерна пшениці озимої. Задача - визначити кількість добрив під прогнозовану врожайність.*

Приймаючи до уваги, що за матеріалами агрохімічного обстеження встановлено в орному шарі ґрунту цього поля міститься 2,8% гумусу, 5,6 мг/100 г ґрунту рухомого фосфору і 10,2 мг/100 г обмінного калію,) реакція ґрунтового розчину (обмінна кислотність) становить рН - >6,5 (Т<sub>26</sub>), тобто нейтральна. За механічним складом ґрунт відноситься до важко суглинистих.

Природна родючість ґрунту в цьому полі оцінюється в 50 балів. Знаючи, що кожен бал родючості забезпечує врожай зерна пшениці озимої – 55 кг, і враховуючи поправки до ціни бала на кислотність і механічний склад визначаємо, що за природної родючості є можливість одержати зерна 29 ц/га ( $50 \times 55 \times 1.1 \times 0.95$ ). В цьому випадку при пересічних кліматичних умовах врожайність буде 48 ц/га  $\frac{29 \cdot 100}{60}$ . Приймаючи до уваги, що коливання врожаю

за багаторічними спостереженнями ґрунтово-кліматичних умов та їх впливу, дають підставу визначити цю величину, яка становить 14 ц/га ( $48:100 \times 30$ ).



\* Норма внесення з врахуванням: кислотності, попередника, механічного складу ґрунту.

Рис.1. Залежність норми внесення мінеральних добрив від наявного гумусу в орному шарі ґрунту (попередник – горох, тип ґрунту – середньо-суглинистий).



З наведених даних маємо, що при сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах виробництва є можливість отримати 62 ц/га зерна пшениці озимої (48 + 14), а за несприятливих – лише 34 (48 – 14), тобто фактична природна родючість становитиме 28 (62-34) ц/га.

Таким чином, природний потенціал родючості для конкретного поля і сорту культури потрібно планувати урожайність не 50, а 48 ц/га.

Враховуючи, що на кожний центнер прибавки зерна пшениці озимої потрібно використати 7,0 кг д. р. NPK: з них 2,7 кг азоту, 2,5 кг фосфору і 1,8 кг калію, а крім того 6,0 т органічних добрив, одна тонна яких рівноцінна 12,0 кг д. р. NPK, а 6,0 т органіки становить 72,0 кг д. р., з яких 40 % рослини використовують в перший рік, а це 4 ц пшениці ( $6,0 \cdot 12,0 \cdot 0,4 / 7,0$ ). Тобто, сумарний урожай за рахунок природної родючості і органічних добрив становитиме 32 ц/га (28 + 4), а решту 16 ц (48 – 32) потрібно забезпечити внесенням мінеральних добрив. Загальна потреба в поживних речовинах буде така: азоту 43,2 (16 x 2,7), фосфору 40,0 (16 x 2,5) і калію 28,8 (16 x 1,8) кг на гектар, а в цілому 112,0 кг.

Для визначення дійсної кількості добрив під заплановану врожайність треба скоригувати її з врахуванням забезпеченості ґрунту елементами живлення та попередника. Враховуючи попередник горох, потреба в азоті визначається за співвідношенням 30,24 кг ( $43,2 \times 0,7 \times 1,0$ ), фосфору – 32,0 кг/га ( $40,0 \times 0,8 \times 1,0$ ) і калію 24,48 кг/га ( $28,8 \times 0,85 \times 1,0$ ) Тобто потреба в мінеральних добривах становитиме 86,7,0 кг/га д. р. Аналогічно визначають норми внесення мінеральних добрив під будь яку культуру. Розрахунки показують, що без врахування вмісту поживних речовин у ґрунті треба було б витратити 112,0 кг д. р., при врахуванні – 86,7, кг/га, тобто на 25,3 кг менше, або 24 %, а в грошовому виразі – понад 180 грн. на гектарі.

Використовуючи дану модель були проведені дослідження залежностей зміни норм внесення добрив від попередників, наявності в ґрунті живильних речовин, гумусу, кислотності та механічного складу.

Результати залежності норм внесення добрив від вмісту у орному шарі ґрунту гумусу (рис. 1) показують, що при зміні значення агрохімічного обстеження наявності в орному шарі ґрунту від 6 до 1% норма внесення добрив коливається в межах від 12 до 25 кг/га фізичної величини.

Як показали результати досліджень більш точно врахування всіх складових, які впливають на норму внесення мінеральних добрив, дозволить значною мірою підвищити культуру землеробства, за рахунок збереження гумусного шару ґрунту та знизити собівартість виробництва продукції.

### Список використаних джерел

1. Крылатов А.К., Муртазин Р.Г., Немцов В.И., Одиноква Н.С. Динамика гумуса в пахотном слое и его баланс в севообороте.– М.,1999,с.142.
2. Прокошев В.В. Про необхідність застосування мінеральних добрив. //Плодородие, 2002. № 1 (4).



3. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. Аграрна наука.К.:2009 С.-118...138.

UDC 631.331

## CHOOSING A COULTER FOR A ROW CROP SEEDER

**K. VASYLKOVSKA**, PhD, Associate Professor, **M. VASYLKOVSKA**  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi. Ukraine*  
*E-mail: vasilkovskakv@ukr.net*

The initial formation of a uniform seed flow is ensured by the work of the seeder's sowing apparatus, in which the seeds are sequentially placed on the sowing element, transported to the discharge zone, and directed into the furrow [1]. The effectiveness of the coulters is determined not only by the quality of the furrow formation, but also by its ability to maintain a stable seed flow, ensure that the seeds are placed at equal distances from each other at the bottom of the furrow, and then cover them properly.

The process of placing seeds in the soil is the final stage of sowing, during which the seeds begin to interact with the soil environment, which modifies their physiological state and creates the conditions for their germination. Therefore, the task of the coulters is to place the seeds in the furrow in a high-quality manner in order to ensure their subsequent germination.

The main factor in choosing a coulters for a row crop seeder is that its design meets agronomic requirements and the specific soil and climatic conditions of the farm.

The coulters for a row crop seeder is one of the key working parts that directly affects the quality of seed sowing and plant emergence. The main requirements for a row crop seeder coulters can be formulated as follows:

1. Furrow formation quality. The coulters must ensure a stable seed planting depth regardless of soil density and condition. Creating such a furrow with even walls and a compacted bed promotes uniform seed placement [2].

2. Sowing accuracy. The coulters must ensure minimal deviation from the set depth. Therefore, uniformity of operation must be ensured, whereby seeds are buried without excessive deepening when working on heterogeneous soils [3].

3. Formation of the seedbed. The coulters must ensure good cutting of plant residues and stubble without clogging. There should be no clods or soil spillage into the furrow [4].

4. Reducing seed damage. The coulters must ensure that the seeds are placed in the furrow smoothly, without impact or damage [5].

5. Minimal resistance to movement. The coulter must ensure the optimal shape of the working parts to reduce drag resistance and energy consumption.

6. Versatility and ease of adjustment. The coulter should be easy to adjust to different working depths. It should also be versatile and suitable for sowing various crops (corn, sunflower, soybean, beet, etc.) [1, 6].

7. Durability. The coulter must be made of wear-resistant materials (hardened steel, sometimes with carbide brazing) [7].

Therefore, when choosing coulters, all of the above requirements for their operation should be taken into account. In addition, an important condition for the correct selection and smooth operation of the coulter is its adaptability to specific agroclimatic conditions.

Let's take a look at the main types of coulters:

1. Double-disc coulters, which form a V-shaped furrow (Table 1).

These coulters consist of two discs positioned at an angle to the direction of travel. They create a narrow V-shaped furrow, penetrate the soil well, and cope well with plant residues.

Advantages: stable operation even on hard soils, do not compact the furrow, adapted for precise sowing.

Disadvantages: limited ability to separate seeds and fertilizers, sensitive to speed.

**Table 1** – Typical classification of coulters for row crop seeders.

| Coulter type           | Furrow shape | Features                                         |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------|
| Double disc (V-type)   | V            | Precise sowing, minimal compaction               |
| Anchor (claw)          | U            | Wide furrow, suitable for fertilizers            |
| Combined (disc-anchor) | T            | Compatible sowing + fertilizers, good compaction |
| Flat/spherical discs   | U or V       | Hulling, resistant to plant residues             |

2. Anchor (claw) coulters, which form a U-shaped furrow.

These coulters form a wide U-shaped furrow, loosening the soil from the bottom up and to the sides.

Advantages: wide channel for seeds, suitable for subsoil sowing or fertilizer application.

Disadvantages: may leave plant residues after passing through stubble.

3. Combined (disc-anchor) coulters that form a T-shaped furrow.

This coulter design combines the functions of the two previous coulters: the front disc pre-treats and loosens the soil, while the anchor part forms a furrow with a clear planting bed. In addition, the combination of two coulters makes it possible to

separate the application of seeds and fertilizers and to compact the seedbed for sowing seeds.

4. Flat and spherical disc coulters (inclined discs) that form a U or V furrow.

These coulters are single-disc, located at an angle to the direction of movement of the seeding unit. At the same time, the disc itself can be flat or complex in shape (spherically curved) [8, 9].

Advantages: such disc coulters ensure effective operation in the presence of plant residues without compacting the soil. They have a relatively simple design, which facilitates their adjustment.

Disadvantages: they bury plant residues in the furrow, forming a U-shaped furrow, which makes it possible for the soil in the furrow to dry out. In addition, as the speed of the seeding unit increases, seed burial deteriorates. However, the angle of the disc and its complex shape partially offset this problem.

To ensure accurate sowing, soil and climatic conditions of the region should also be taken into account. For example, black soil is characteristic of the steppe zone.

Black soil in the steppe zone is characterized by high humus content, good water permeability, and fertility, but during dry periods, it can overheat, which negatively affects the yield of cultivated crops.

Thus, for the soil and climatic conditions of the Steppe zone of Ukraine, it is most appropriate to choose combined disc-anchor coulters with a sharp angle of entry into the soil, which can be equipped with a retaining heel.

### **Referencis:**

1. Vasytkovska K., Vasytkovskyi O. The influence of shape and type of sowing disc cells on the seed dosage quality. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2014. Vol. 6(7), pp. 33-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29272>

2. Васильковська, К.В. Системний аналіз конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів для точного висіву насіння просапних культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. Вип. 48. С. 22-35. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.22-35>

3. Vasytkovska K.V., Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. INMATEH - Agricultural Engineering. 2016. Vol. 50(3). P. 13-20.

4. Сало В.М., Вовнянко Б.Г., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Покращення якісних показників процесу сівби. Сільськогосподарські машини, – Луцьк: ЛНТУ, 2024. Вип. 50. С. 113-119. DOI <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>

5. Кирпа М.Я., Базілева Ю.С., Бондарь Л.М. Травмування насіння гібридів кукурудзи та методи його визначення. Селекція і насінництво. – Харків:

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, 2016. Вип. 109. С. 139-146. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2016.74216>

6. Бакум М.В., Кириченко Р.В., Басов О.І. Використання мехатронних пристроїв в посівних машинах точного висіву. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, - 2016. Вип. 173. С. 125-131.

7. Сало. В., Гайденок О. Основні типи сошників для прямої сівби зернових культур. Агробізнес Сьогодні, 2016. URL: <http://agro-business.com.ua/ahrotekhnolohiyi/item/1242-osnovni-typysoshnykiv-dlia-priamoi-sivby-zernovykh-kultur.html> (дата звернення 23.01.2026)

10. Aliiev, E., & Tesliuk, H. Analytical justifications of constructive parameters of bionic colters for vertical soil treatment. Machinery & Energetics. – 2024, Vol. 15(3), pp. 129-139. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2024.129>

**УДК 633.1:681.78**

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ ЦИФРОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ**

**С. П. СТЕПАНЕНКО**, д.т.н., **А. Я. КУЗЬМИЧ**, к.т.н.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

Контроль якості зерна відіграє значну роль у підвищенні ефективності аграрного виробництва та забезпеченні продовольчої безпеки країни. Значна частина вирощеного врожаю зернових культур втрачається під час операцій збирання та післязбиральної обробки. Післязбиральні втрати зерна у середньому в світі складають понад 6,6% [1, 6], хоча присутня певна неоднорідність втрат урожаю через відмінності в кліматичних умовах, рівнях технічного забезпечення та ін.

Традиційні методи оцінки, зокрема механічне сортування, хімічний аналіз та візуальна оцінка вручну, мають низку недоліків, серед яких низька швидкість, суб'єктивність та необхідність значних трудових ресурсів. Одним із перспективних рішень цієї проблеми є застосування машинного зору, який дозволяє автоматизувати процес оцінки якості зерна.

Останнім часом все більше дослідників використовують методи візуалізації для виявлення домішок у харчовій та сільськогосподарській промисловості [2-5] на основі технологій комп'ютерного зору. Завдяки поєднанню методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту можна суттєво підвищити точність та швидкість контролю, що особливо важливо для великих виробничих підприємств.

Метою дослідження є розробка методу визначення фракційного складу зернових матеріалів за допомогою аналізу їх цифрових зображень. Це дасть можливість здійснення швидкого та ефективного контролю якості зерна та стане базою для розроблення систем автоматизації процесів очищення зерна.

Дослідження фракційного складу зернових матеріалів пшениці виконували згідно методики ISO 7970:2021 «Wheat (*Triticum aestivum* L.) – Specification». Під час аналізу дослідні зразки зернового матеріалу пшениці ділили на наступні п'ять фракцій: повноцінне зерно, бите зерно, щупле зерно, соломисті домішки, частинки суцвіть (полова).

Для аналізу цифрових зображень зернових матеріалів розроблене програмне забезпечення, реалізоване на мові програмування Python із використанням прикладної бібліотеки для обробки зображень OpenCV. В основі алгоритму програмного забезпечення лежить обробка зображень та сегментація об'єктів для аналізу контурів та визначення площ об'єктів зразків. В алгоритмі реалізовано перевірка та відбір об'єктів за площею контурів та співвідношенням сторін, для відсіювання шумів зображення. При цьому здійснюється підрахунок кількості відібраних об'єктів та їх загальної площі.

Дослідження вагових коефіцієнтів компонентів зернових сумішей проведено шляхом фотографування та обробки цифрових зображень із використання розробленого програмного забезпечення. Для фотографування зразків зернових матеріалів виготовлено стенд з двома контурами кільцевого LED підсвічування та калібрувальну рамку.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено значення вагових коефіцієнтів п'яти основних компонентів зернових сумішей пшениці, що дозволяє визначити склад фракцій в зерновому матеріалі. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність визначення показника засміченості зерна для різноманітних за фракційним складом зернових матеріалів озимої пшениці. Це стає можливим завдяки використанню експериментально визначених відносних вагових коефіцієнтів основних п'яти фракцій зернових сумішей пшениці.

Розроблений метод може бути використаний при створенні систем контролю та автоматизації процесів збирання та післязбиральної обробки зернових матеріалів, що будуть базуватись на швидкому аналізі вхідних та вихідних потоків зернових матеріалів.

**Висновки.** Розроблений метод дозволяє визначити фракційний склад зернового матеріалу завдяки використанню експериментально визначених відносних вагових коефіцієнтів основних п'яти фракцій зернових сумішей пшениці. Розроблений метод може бути використаний при створенні систем контролю та автоматизації процесів збирання та післязбиральної обробки зернових матеріалів.

*Дослідження виконано в рамках проекту, що фінансується Національним фондом досліджень України (грант Президента України докторам наук для проведення наукових досліджень і розробок).*



### Список використаних джерел

1. Ruotong, M.U., Liang, W.U. (2023). A research review of global grain harvest losses. *Resources Science*, 45(9): 1789–1800.
2. Rong, D., Wang, H., Xie, L., Ying, Y., Zhang, Y. (2020). Impurity detection of juglans using deep learning and machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105764.
3. Stepanenko S., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Dnes V., Volyk D., & Kalinichenko R. (2025). A machine vision approach for grain quality control during separation. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12(1), P. E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
4. Han, K., Zhang, N., Xie, H., Wang, Q., Ding, W. (2023). An improved strategy of wheat kernel recognition based on deep learning. *Dyna*, 98(1). 91–97.
5. Ma, N., Su, Y., Yang, L., Li, Z., Yan, H. (2024). Wheat Seed Detection and Counting Method Based on Improved YOLOv8 Model. *Sensors*, 24(5), 1654.
6. Stepanenko S., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Kalinichenko R. (2025). Smartphone-based machine vision for grain quality assessment. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(2), pp. E14–E21. [http://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).e2](http://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).e2)

УДК 631

### ЗАЛЕЖНІСТЬ МАСИ 1000 ЗЕРЕН ПЕРШОЇ ФРАКЦІЇ ВІД ПРОДУКТИВНОСТІ ВІБРОПНЕВМОІМПУЛЬСНОЇ МАШИНИ

Д. А. ВОЛИК аспірант,  
І. С. ПОПАДЮК м.н.с.,  
В. А. МЕЛЬНИК, аспірант,  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної Академії Аграрних наук України*  
E-mail: [volyk.d.a@gmail.com](mailto:volyk.d.a@gmail.com)

В ІМА АПВ НААН розроблено вібропневмоімпульсний сепаратор [2, 3] 196іж зер за густиною. Він працює наступним чином. Зерновий матеріал подається з бункера на 196іж зернове196о поверхню, де піддається дії одночасно вібрації з боку 196іж зернове196ом поверхні, та 196іж зернове196ому повітряному потокові. В результаті чого відбувається розшарування матеріалу за густиною.

Проводили експериментальні дослідження за планом Бокса-Бенкена [1]. Зокрема, дослідили значення залежності маси 1000 зерен першої фракції від продуктивності машини за різних значень частоти пульсації повітряного потоку.

Отримані експериментальні результати (Рис. 1) [2] демонструють чітку та стійку залежність маси 1000 зерен першої фракції від продуктивності машини за різних значень частоти пульсації повітряного потоку. Аналіз наведених графічних даних свідчить про те, що зі зростанням продуктивності сепаратора відбувається поступове зменшення маси 1000 зерен у першій фракції незалежно від режиму пульсації повітряного потоку. Така закономірність пояснюється зростанням питомого навантаження на робочу поверхню та скороченням часу перебування зернового матеріалу в зоні активної пневмосепарації, що знижує стійкість процесу розшарування зернової маси за густиною та аеродинамічними властивостями.

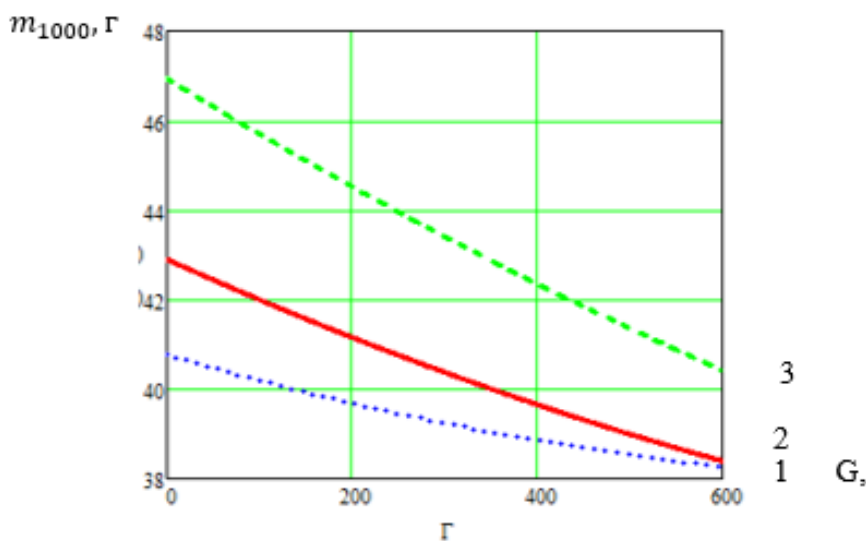


Рис.1. Залежність маси 1000 зерен першої 197їж зер від продуктивності машини за різних значень частоти пульсації повітряного потоку  
1 –  $\omega_1=5$  Гц, 2 –  $\omega_1=10$  Гц, 3 –  $\omega_1=15$  Гц,

Водночас результати показують суттєвий вплив частоти пульсації повітряного потоку на якісні показники першої фракції. За мінімального значення частоти пульсації ( $\omega_1 = 5$  Гц) маса 1000 зерен є найменшою в усьому досліджуваному діапазоні продуктивностей. Це свідчить про обмежену здатність повітряного потоку забезпечувати ефективне розшарування зернового шару, внаслідок чого до першої фракції потрапляє зерно з нижчою питомою масою. За таких умов процес сепарації набуває менш вибіркового характеру, а якість виділеної фракції знижується зі зростанням подачі матеріалу.

Підвищення частоти пульсації повітряного потоку до 10 Гц приводить до помітного збільшення маси 1000 зерен першої фракції за всіх значень продуктивності машини. Це вказує на інтенсифікацію процесів приведення шар в вібропневроімпульсний стан та коливального перемішування зернового шару, що сприяє більш чіткому поділу частинок за густиною та формою. У даному режимі повітряний потік створює сприятливі умови для переміщення більш важких зерен.

Найвищі значення маси 1000 зерен спостерігаються за частоти пульсації  $\omega_1 = 15$  Гц. У цьому режимі поєднання механічних коливань робочої поверхні та високочастотних пульсацій повітряного потоку забезпечує максимальну інтенсивність розшарування зернового матеріалу. Повітряний потік набуває вираженого імпульсного характеру, що зменшує зношеність зернового тертя, покращує рухливість частинок і сприяє стабільному виділенню найбільш повного зерна до першої фракції навіть за підвищених значень продуктивності машини.

Важливо відзначити, що за всіх досліджуваних частот пульсації зростання продуктивності машини негативно впливає на масу 1000 зерен першої фракції, проте інтенсивність цього зниження є різною. За низької частоти пульсації спад маси відбувається більш різко, тоді як за високої частоти пульсації зменшення має плавний характер. Це свідчить про те, що підвищена частота пульсації повітряного потоку частково компенсує негативний вплив зростання подачі зернового матеріалу, стабілізуючи процес сепарації та підтримуючи високу якість фракціонування.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що частота пульсації повітряного потоку є одним із ключових параметрів вібропневматичної сепарації зерна. Її оптимізація дає змогу підвищити якісні показники першої фракції без істотного зниження продуктивності машини. Особливо це актуально для режимів роботи з підвищеним навантаженням, де традиційні пневмосепараційні системи демонструють зниження ефективності.

З практичної точки зору результати дослідження підтверджують доцільність застосування пульсуючих повітряних потоків підвищеної частоти у вібропневмостолах та подібних зерноочисних машинах. Використання таких режимів дозволяє забезпечити стабільне виділення більш повного зерна, підвищити товарну та посівну якість продукції, а також розширити робочий діапазон продуктивностей без погіршення селективності процесу. Отримані закономірності можуть бути використані при розробленні нових конструктивних схем вібропневматичних сепараторів, а також для обґрунтування раціональних режимів їх експлуатації.

### Список використаних джерел

1. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва : підручник : підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 341 с.
2. Дослідження процесів руху та розділення компонентів насіннєвих сумішей у вібропневматичному середовищі / С. П. Степаненко та ін. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. Т. 14, № 2. С. 10. URL: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-2>.
3. Пневмоімпульсний-решітний сепаратор для поділу насіння за густиною : пат. 156722 Україна : В07/12 (2006.01). № у 2023 06049 ; заявл. 13.12.2023 ; опубл. 01.08.2024, Бюл. № 31. 3 с.

УДК 621.01

## ОЦІНКИ ЗА РАНГОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**О. В. НАДТОЧІЙ**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: mecallnow@gmail.com

Забезпечення аграрного виробництва високотехнологічною технікою, що відповідає сучасному світовому рівню є актуальною задачею розвитку системи інженерно-технічного забезпечення. Проте одного боку внаслідок погіршення платоспроможності, сільські товаровиробники не забезпечені коштами для закупівлі техніки, а машинобудівники із-за зниженого попиту, економічну кризу, обмежене фінансування та брак обігових коштів змушені скорочувати і навіть зупиняти виробництво. З іншого боку, *споживач*, навіть маючи кошти придбання техніки не застрахований від помилок інженерних рішень. Адже виробляючи техніку чи експлуатуючи придбану, вона уже може бути морально чи технічно застарілою, тією, яка не відповідає сучасним світовим вимогам. Ми проаналізувати деякі неточності методики ранжування відповідності техніки світовому рівню розроблена УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Тому на наш погляд методика є вкрай важливою.

Ця методика містить повний класифікаційний перелік споживчих властивостей сільськогосподарської техніки, які виступають в якості критеріїв ранжування.

На сьогодні існує багато способів визначення рейтингів, вибір яких залежить від цілей та напрямів дослідження. Найбільш поширеними є рейтинги, оцінюючі ранг об'єктів на основі абсолютних показників (технічні характеристики с.г. техніки), які легко відшукати в інструкціях по експлуатації, прайсах тощо. Досліджувана нами методика ранжування спирається на об'ємні показники, які не дозволяють порівнювати с.г. машини різного призначення. Значно більше аналітичної інформації дають рейтинги, побудовані на відносних незалежних показниках, що забезпечують всеохоплюючу оцінку стану обраного об'єкта. Це в результаті дає змогу віднести с.г. машину до певного класу, категорії, ряду, рангу.

Методика містить проведений аналіз існуючих сучасних методик порівняння сільськогосподарських машин, та визначення головні їх недоліки. Проте на наш погляд, автори передчасно відкидають переваги існуючих методів і роблять помилкові висновки.

Зокрема застосування при порівнянні (ранжуванні) вагомості кожного із прийнятих критеріїв, в жодному разі не веде до суб'єктивізму результатів порівняння. Супротив до сприймання викликає прийнятий у даній методиці підхід рівнозначності критеріїв. Скажемо критерій «запас крутного моменту» і «ергономічні властивості» чи екологічні не можуть апріорі бути рівнозначними.

Перші це технічні властивості тоді як другі характеризують ергономічні споживчі властивості. Певний сумнів, без будь-яких обґрунтувань, викликає вибір саме 7 (оптимальне число критеріїв) критеріїв. Чому саме 7, а не 15? В той же час таблиці ранжування колісних тракторів містять чомусь лише 4 критерії. В результаті рівнозначність кожного із критеріїв призвела до неоднозначності ранжування. Для прикладу: трактори потужністю 100-150 к.с. (ст. 23) №№14, 15, 16, 19, 20, 21 (можна продовжувати перерахунок) мають ранг 19-100. Тобто можуть бути розміщені на будь-якому із цих місць в рейтингу. Для адекватної методики це є неприпустимим. Ранг має визначатися конкретною однозначною цифрою. Тоді є сенс в його проведенні.

Для прикладу приведемо результат оцінки розрахунку ранжувань тракторів з табл.1 (ст. 23). Візьмемо трактори, які за даною методикою отримали однаковий ранг **19-100**, а саме №№ 12, 16, 18, 19, 20, 21, 30 та 31. Спробуємо оцінити їх за своєю методикою. Результат розрахунку приведено в табл. 1.

Таблиця 1.

## Ранжування за багатокритеріальною методикою

| №  | Марка              | Пок. №1 | Пок. №1 | Пок. №1 | Пок. №1 | Знач. критерію | Ранг     |
|----|--------------------|---------|---------|---------|---------|----------------|----------|
| 12 | New Holland T6010  | 24      | 59      | 797     | 15      | 1.065          | <b>3</b> |
| 16 | Valtra A92         | 18      | 41      | 554     | 21      | 0.971          | 7        |
| 18 | McCormick CX105    | 29      | 48      | 640     | 20      | 0.833          | 6        |
| 19 | McCormick MC105    | 29      | 53      | 707     | 16      | 0.805          | <b>2</b> |
| 20 | Deutz Fair K110    | 30      | 55      | 724     | 16      | 0.654          | 5        |
| 21 | Hurlimann XM110    | 30      | 44      | 579     | 16      | 0.624          | 4        |
| 30 | Belarus MTS 1021.3 | 25      | 43      | 547     | 18      | 0.599          | 8        |
| 31 | Deutz Fair 120     | 35      | 62      | 775     | 17      | 0.448          | <b>1</b> |

Як бачимо за методикою, яка рецензується всі трактори однакові (так як у всіх ранг 19-100) не зважаючи, що ціна на трактор коливається від 41 до 62 тис.€. А це 212000 грн. різниці. Дайте мені 212000 грн. і я визначу, який трактор кращий без всякої методики. За нашою методикою при **рівнозначних критеріях** отримуємо чітке ранжування. На **1 місці** - Deutz Fair 120, **2-** McCormick MC105, **3** - New Holland T6010.

Люба методика має містити основні формули і залежності для самостійного визначення чи перевірки правильності ранжування окремих марок с.г. машин. Відсутність цих залежностей є недоліком даної методики. Яким чином визначався ранг не зовсім зрозуміло. Якщо це просте відношення кількості (%) приналежності світовому рівню (із загальної кількості варіантів), що відповідають світовому рівню згідно кожного критерію, тоді це пояснює неможливість однозначного ранжування. Методика не розкриває, що саме приймають за базовий варіант. Просто варіант у якого найкращі ті чи інші показники, чи щось інше? Чи саме базовий варіант і визначався експертами? Якщо так, тоді дана методика має ще один недолік, а саме статичність і відсутність мобільності. Адже експерти можуть скласти свою оцінку лише



стосовно техніки, яка вже є на ринку України, (а це на 80% техніка нижче світового рівню). Нові розробки не відразу зможуть бути оцінені експертами, або оцінка їх буде не коректною і як наслідок втрачається час на оцінку.

Врахувавши дані зауваження, на наш погляд, і використавши сучасні інноваційні обчислювальні технології, дану методику можна покласти в основу проектування повноцінної експертної системи.

### **Список використаних джерел**

1. Маслов Г.Г. Методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин. «Тракторы и сельхозмашины» 2009 №10 ст.31-33.
2. Економіка підприємства/ За ред. С.Ф.Покропивного. - К.: Хвиля-прес, 1995.- 280 с.
3. Хотомлянський А.Л., Черната Т.Н., Тузенко Д.В. Оцінка і аналіз виробничо-господарської діяльності підприємства з використанням матричної моделі // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. праць.- Маріуполь, 2000.- Вип. 9.- С. 258-263.

**УДК 631.3:621.313**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИВОДІВ ХОДОВИХ ОСЕЙ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК І ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЗНИЖЕННЯ БУКСУВАННЯ РУШІЇВ**

**О. О. МАКОГІН** м.н.с., здобувач, *ІМА АПВ*  
*E-mail: oleksandrmakogin15@gmail.com*

Ключові слова: електричний привід ходових осей, активне шасі причіпної машини, тягово-зчіпні показники, коефіцієнт буксування, машинно-тракторний агрегат, надійність технічної системи, ущільнення ґрунту.

У процесі виконання польових робіт із застосуванням широкозахватних зернових сівалок і перевантажувачів зростає тягове навантаження на рушії енергозасобу. За таких умов буксування нерідко виходить за агротехнічно бажані межі, що супроводжується перевитратами палива, зниженням продуктивності та погіршенням стану ґрунтового середовища.

Гранично допустиме буксування визначається умовами зчеплення та параметрами агрофону. Згідно з теоретичними дослідженнями, зі збільшенням коефіцієнта опору коченню колісного рушія величину допустимого буксування доцільно обмежувати, щоб зменшити інтенсивність дотичних напружень у ґрунті та втрати енергії на деформацію ґрунтового масиву [1].

Одним із технічних рішень, що дозволяє зменшити навантаження на рушії трактора, є активізація ходових осей причіпної машини. Практичний інтерес становлять електромеханічні приводи, здатні реалізовувати регульований крутний момент на колесах. Дослідження електричного трактора з повним приводом показали, що за умов прослизання 0–15 % коефіцієнт тягової ефективності становить 0,60–0,80, а динамічний коефіцієнт — 0,17–0,30 [2]. Наведені дані підтверджують потенціал електроприводу щодо підвищення реалізації тягового зусилля.

Застосування аналогічного принципу для шасі зернових сівалок і перевантажувачів дає змогу перерозподіляти частину тягового зусилля на активні осі причіпної машини. Це зменшує буксування рушіїв енергозасобу, стабілізує рух агрегату та сприяє більш рівномірному навантаженню на ґрунт, що є важливим для зниження ризику переущільнення.

Таким чином, електричні приводи ходових осей доцільно розглядати як елемент підвищення надійності машинно-тракторної системи та як інструмент обмеження агротехнічно небажаного буксування.

#### Список використаних джерел

1. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Надикто В. Т. Теоретичне дослідження умов максимально допустимого буксування рушіїв колісних енергетичних засобів. Вісник аграрної науки. 2022. № 12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-06>.
2. Baek S.-Y., Baek S.-M., Jeon H.-H., Kim W.-S., Kim Y.-S., Sim T.-Y., Choi K.-H., Hong S.-J., Kim H., Kim Y.-J. Traction Performance Evaluation of the Electric All-Wheel-Drive Tractor. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 3. Article 785. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22030785>.

УДК 665:37.014

#### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРООЧИЩЕННЯ

**Б. І. КОТОВ**, д.т.н., проф.;

*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»*

**С. П. СТЕПАНЕНКО**, д.т.н.

*Інститут механіки та автоматики АПВ НААН*

**Р. А. КАЛІНІЧЕНКО**, к.т.н.

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*

Представлено загальну постановку одновимірної нестационарної задачі масопереносу під впливом зовнішнього електростатичного поля. При цьому

електричні сили мають чисто кулонівський характер, причому зарядка зернових частинок відбувається за рахунок «коронного» розряду, який виникає, завдяки різкій неоднорідності зовнішнього електричного поля. У свою чергу, ця неоднорідність досягається шляхом перфорування емалевої ізоляції високовольтного електрода. В результаті виникають явища, аналогічні випадку газів, зокрема й «електричного вітру». В об'ємно зарядженому середовищі заряджаються домішкові частинки, які під дією зазначених сил переміщуються до протилежного електрода, що слугує колектором домішок. Рух частинок відбувається і за рахунок електроконвективного перенесення.

У роботі [1-3, 6, 10] наводяться результати теоретичних досліджень процесу електроосадження заряджених діелектричних частинок на «електроди-колектори», в результаті отримані формули для залежностей товщини шару та залишкової концентрації від часу. Ці залежності мають складно експоненціальний характер і багато в чому узгоджуються з дослідними даними, однак не пояснюють своєрідне явище – раптове зникнення ефекту електроочищення з часом.

Виявляється, при всіх значеннях напруги  $U$  на електрофільтрі існує «критичний час»  $t$ , після нього електричне очищення повністю припиняється. При цьому встановлюється деяка постійна, мінімальна залишкова концентрація  $\phi_{\min}$ , тим менша, чим більша подана на електрофільтр напруга. Дана особливість стосовно діелектричних частинок [1-3] пояснювалася двояко [5-6]: або екрануванням поля коронного розряду шаром гетерозаряду воскових частинок, що осіли на електродах-пастках, або зростаючим звичайним омичним опором цього шару. Наведені кількісні оцінки показали, що обидва пояснення в кінцевому рахунку призводять до ідентичного результату – зменшення напруженості поля коронного розряду аж до критичних значень, при яких він виникає, а отже, і зникає. Одночасно припинення коронного розряду означає зникнення джерела зарядки частинок, отже, їх перенесення полем і закінчення процесу. Зробити вибір між двома точками зору слід через експеримент, зокрема щодо виявлення вольт-амперних і грам-амперних характеристик процесу електричного очищення в цілому.

З викладеного випливає, що обговорювана дифузійна теоретична модель опису процесу електричного очищення вважалася б придатною, якби коефіцієнт дифузії  $D$  був на кілька порядків більший. Але для початку необхідно з'ясувати фізичні механізми, які могли б внести такий істотний вклад у зворотний потік маси. Мова йде про перезарядку частинок, яка ще не враховувалася. Рух перезаряджених частинок у зворотному напрямку під дією сил електростатичного відштовхування і є тим механізмом, який міг би внести ясність у фізичну картину процесів, що відбуваються. Саме детальний аналіз динаміки перезарядки, включаючи залежність швидкості перезарядки від інтенсивності поля та фізико-хімічних властивостей частинок, є ключовим для повного розуміння ефекту зникнення очищення, оскільки це явище, ймовірно, корелює з критичною зміною умов зарядоутворення та стабілізації системи.

Густина електричних зарядів, обумовлених перезарядкою частинок, може бути визначена за загальною формулою [1, 3, 6]:

$$\rho = \nabla(\varepsilon E) = \nabla\left(\frac{\varepsilon j}{\sigma}\right) = j \nabla \tau = \frac{d\tau}{d\varphi} j \nabla \varphi, \quad (1)$$

де  $\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma}$  – максвеллівський час релаксації;  $\varepsilon$  – абсолютна діелектрична проникність.

При отриманні (1) враховано рівняння неперервності густини електричного струму, загальне рівняння конвективної дифузії [1, 3, 6]:

$$\gamma \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + (\vartheta \nabla) \varphi \right] = -\nabla i \quad (2)$$

де  $i$  – це густина потоку маси (масовий потік), яка включає в себе два основні компоненти:

- Дифузійний потік: Рух частинок, спричинений різницею концентрацій. Частинки прагнуть переміщатися з області вищої концентрації в область нижчої.
- Потік, обумовлений силами  $f$  зовнішнього електричного поля: Рух частинок, що виникає під дією електричних сил. Ці сили змушують заряджені частинки рухатися в напрямку електричного поля.

$f$  – це сили зовнішнього електричного поля, які впливають на рух частинок.

$$i = -\gamma D \nabla \varphi + \gamma \varphi b f \quad (3)$$

де  $\gamma$  – масова густина середовища (суміші);  $D$  – коефіцієнт дифузії;  $b$  – коефіцієнт рухливості частинок. У цій формулі добуток  $b f$  – ніщо інше, як наскрізна міграційна швидкість частинок  $\vartheta_m$ , пропорційна силі, яка в електричному полі, як правило, є чисто кулонівською ( $f = qE$ ). Таким чином:

$$\vartheta_m = b q E = b q \left( \frac{j}{\sigma} \right) \quad (4)$$

де  $q$  – заряд частинок, він визначає, наскільки сильно частинка буде взаємодіяти з електричним полем;  $E$  – напруженість поля (або інтенсивність електричного поля), що показує силу електричного поля в певній точці простору та напрямок її дії;  $j$  – густина електричного струму;  $\sigma$  – питома електрична провідність середовища (суміші).

Густину потоку маси, обумовлену зарядом (1), визначимо наступним чином:

$$i^* = \gamma_1 b q E = b m_0 [n_1 q] E = b m_0 \rho E = b m_0 \frac{j}{\sigma} \frac{d\tau}{d\varphi} (j \nabla \varphi) \quad (4)$$

де  $m_0$  – маса частинок;  $n_1$  – їх число в одиниці об'єму;  $\gamma_1 = m_0 n_1$  – масова густина.

Ця величина повинна бути додана до правої частини (3), після чого вона набуде вигляду:

$$i = -\gamma D \nabla \varphi + \gamma \varphi b f - b m_0 \frac{j}{\sigma} \left| \frac{d\tau}{d\varphi} \right| (j \nabla \varphi) \quad (5)$$

де враховано, що час релаксації зменшується зі зростанням концентрації через збільшення питомої електропровідності. Враховуючи (5), для рівняння (1-3) знайдемо:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + w \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (6)$$

те ж саме рівняння, але зі зміненим коефіцієнтом дифузії:

$$D^* \equiv D + \frac{bm_0 j^2}{\gamma \sigma} \left| \frac{d\tau}{d\varphi} \right| \quad (7)$$

Другому доданку в (7) можна приписати сенс «електричного» коефіцієнта дифузії, позначивши:

$$D_E \equiv \frac{bm_0 j^2}{\gamma \sigma} \left| \frac{d\tau}{d\varphi} \right| \equiv \mu \frac{j^2}{\sigma} \left| \frac{d\tau}{d\varphi} \right| \quad (8)$$

Підкреслимо, що дифузія, в тому числі й «електрична», в силу її протилежної спрямованості, не сприяє розділенню фаз, а, навпаки, відіграє негативну роль у процесі електричної сепарації, однак призводить до згладжування експериментально спостережуваних розподілів  $\varphi(z)$ . Для перевірки висунутих припущень необхідно оцінити параметр  $D_E$ . Позначимо:

$$\mu \equiv \frac{bm_0}{\gamma} \equiv \frac{2r^2 \gamma_0}{9\eta\gamma} \quad (9)$$

де  $\gamma_0$  – густина матеріалу частинок. Далі, згідно з однією з моделей діелектричного середовища [1-4], отримані наступні формули:

$$\varepsilon = \varepsilon_2 + \varphi \frac{3[\varepsilon_1 - \varepsilon_2]\sigma_2}{\sigma_1 + 2\sigma_2}; \quad \sigma = \sigma_2 + \varphi \frac{3[\sigma_1 - \sigma_2]\varepsilon_2}{\sigma_1 + 2\sigma_2}; \quad (10)$$

де індекси «1» та «2» відносяться до зернової та замкнутої фаз відповідно. Враховуючи, що електропровідність частинок у багато разів перевищує таку для несучої рідини, тобто  $\sigma_1 \gg \sigma_2$ , і вважаючи  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ , отримуємо:

$$\frac{d\tau}{d\varphi} = - \frac{3\tau_2}{[1+3\varphi]^2} \quad (11)$$

З урахуванням (5) – (7) отримаємо:

$$D_E = \frac{2}{3} \frac{r^2 \gamma_0}{\eta\gamma} \frac{\varepsilon_2 E^2}{[1+3\varphi]} \quad (12)$$

де напруженість електричного поля дорівнює:

$$E = \frac{j}{\sigma_2 [1+3\varphi]} \quad (13)$$

Для оціночних цілей в (12) і (13) доданок  $3\varphi$  може бути відкинутий через його малість ( $\varphi < 5 \cdot 10^{-3}$ ). При цьому виявляється  $bl < 10$ , що вкладається в зазначений інтервал значень, необхідних для адекватного опису масопереносу в рамках розглянутої моделі з модифікованим коефіцієнтом дифузії. Зауважимо, що на відміну від  $D$  «електричний» коефіцієнт дифузії  $D_E$  зростає, причому квадратично, зі зростанням радіуса частинок, що слід мати на увазі при конкретних розрахунках.

Таким чином, навіть проста скоригована дифузійна модель та орієнтовні оцінки призводять до результатів не тільки якісних, а й кількісних закономірностей процесу електричного очищення. Розуміння цих складних процесів дозволить не лише вдосконалити існуючі технології, а й відкрити



шлях до створення принципово нових підходів у галузі електроочищення, що матиме значний вплив на промисловість та екологію.

### Список використаних джерел

1. Гапонюк О.І. Активне вентилявання та сушіння зерна / О. І. Гапонюк, М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк. - Одеса : ВМВ, 2014. - 326 с.
2. Степаненко С.П., Калініченко Р.А., Котов Б.І. Ресурсо-енергоєфективні 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.
3. Kotov B. I., Stepanenko S. P. (2023). Osnovy teoriiyi ta tekhnolohiyi povitryanoyi separatsiyi zernovykh materialiv. [Basics of the theory and technology of air separation of grain materials]. Kyiv: CP Comprint, 427 p.
4. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A, Kupchuk I. Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, Przegląd Elektrotechniczny 1 (2023), 100-104. <https://doi.org/10.15199/48.2023.01.19>
5. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, I. Demchuk, V. Melnyk, D. Volyk. Modelling of aerodynamic separation of grain material in a combined centrifugal-pneumatic separator. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 23, May 22-24, 2024 Jelgava, Latvia. p. 1143-1149. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF236>
6. 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. Przegląd Elektrotechniczny. 2024. Vol. 100, № 3. P. 232-237. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41>
7. Stepanenko, S.; Kotov, B.; Kuzmych, A.; Shvydia, V.; Kalinichenko, R.; Kharchenko, S.; Shchur, T.; Kocira, S.; Kwaśniewski, D.; Dziki, D. To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. Processes 2022, 10, 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929>
8. S. Stepanenko, V. Lukach, I. Demchuk, A. Kuzmych, R. Kalinichenko, V. Gerasymenko, & V. Vasylyuk. (2024) Study of the rotary cleaners of the holes of cylindrical sieves on a vibrocentrifugal separator. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 100 NR 8/2024. p. 160-163. <https://doi.org/10.15199/48.2024.08.33>
9. S. Stepanenko, D. Volyk, A. Kuzmych, V. Melnyk (2025) Theoretical study of the movement of grain particles in a vibro-aerodynamic field. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1091-1096. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF278>

10. 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>

**УДК 631.365.22**

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛО- ТА МАСООБМІНУ ПРИ СУШІННІ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ В КОМБІНОВАНОМУ АЕРОДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ**

**В. О. ШВИДЯ, к.т.н., С. П. СТЕПАНЕНКО, д.т.н.**

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

Якісне насіння кукурудзи — це одне із складових успіху отримання високого врожаю. Незважаючи на військові дії, які проходять в даний час, Україна залишається у списку найбільших експортерів зерна кукурудзи. Через агрономічні особливості насіння кукурудзи збирають при вологості 22-25%. За даної вологості насіння кукурудзи має підвищену здатність до подрібнення та пошкодження зародку. Тому з метою зменшення пошкодження насіння кукурудзу збирають у качанах, потім сушать і після висихання вимолочують з качанів. Сушіння насіння кукурудзи у качанах, як правило, виконують в сушарках нерухомого шару: камерних сушарках, сушіння в сітках та засіках, бункерах активного вентилявання, підлогових сушарках подаючи нагнітальним потоком підігріте або гаряче повітря знизу чи збоку шару качанів [1]. Але через значну товщину шару спостерігається значна нерівномірність сушіння, що призводить до перегріву прилягаючих до входу гарячого чи підігрітого повітряного потоку зон та недосушування дальніх. Використання лише нагнітаючого повітряного потоку в сушарках нерухомого шару створює локальні зони перегрівання та пересушування [2-6], що знижує посівні та споживчі якості насіння кукурудзи. Вирівнювання вологості за відлежування шару качанів кукурудзи ускладнюється тим, що середина качана має більшу гігроскопічність, затримуючи дифузію вологи до більш сухого насіння.

У зв'язку з описаною вище проблемою виникла наступна мета досліджень: збільшення рівномірності сушіння по товщині шару та ліквідація локальних зон перегріву шляхом розроблення нової принципової схеми сушарки качанів кукурудзи. Для поліпшення рівномірності сушіння по товщині шару було запропоновано застосовувати одночасно з нагнітальним повітряним потоком всмоктуючий повітряний потік, що, як показують дослідження [3-5], покращить енергоефективність сушарки та інтенсифікує вологовидалення.

На рисунку представлена розроблена принципова схема сушарки качанів кукурудзи, за якою качани кукурудзи завантажуються в сушильну камеру, верхня та нижня частина якої з'єднана повітропроводами з вентилятором всмоктуючого та нагнітального потоку теплогенератора. Для керування напрямком повітряних потоків в трубопроводах встановлені відповідні заслінки 6 та 7. Нагнітальний вентилятор теплогенератора 3 всмоктує патрубком з'єднаний з теплогенератором 4. Гаряче повітря, яке пройшло через шар качанів кукурудзи, подається на теплообмінник 5, де віддає частину тепла повітрю, що надходить у теплогенератор і викидається далі у навколишнє середовище.

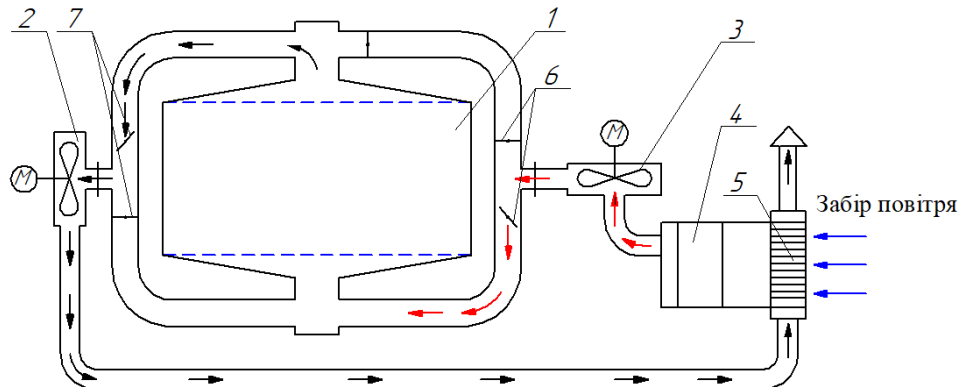


Рис. Принципова схема сушарки качанів кукурудзи:

1 – сушильна камера з качанами кукурудзи; 2 – вентилятор всмоктуючого потоку; 3 – нагнітаючий вентилятор теплогенератора; 4 – теплогенератор; 5 – теплообмінник; 6 – заслінки вентилятора теплогенератора; 7 – заслінки вентилятора всмоктуючого потоку

У процесі сушіння повітря підігрівається додатково теплообмінником 5 та нагрівається у теплогенераторі 4, висмоктується нагнітальним вентилятором теплогенератора 4 та подається нагнітальним потоком вниз шару. Пройшовши шар качанів кукурудзи у сушильній камері 1, охолоджене та вологе повітря висмоктується вентилятором 2 та подається до теплообмінника 5. Через деякий час, коли різниця температур нагріву верхнього та нижнього шару досягне значення  $5^{\circ}\text{C}$ , заслінками 6 та 7 відбувається зміна циркуляції повітряних потоків через шар качанів кукурудзи. Тепер гарячий нагнітаючий повітряний потік подається в верхню частину шару качанів кукурудзи, а висмоктується знизу. Розрідження всередині сушильної камери 1 створюється за рахунок того, що витрата повітря на висмоктування перевищує витрати на нагнітання. При досягненні заданої вологості процес зупиняють і вивантажують качани кукурудзи із сушильної камери 1.

Таким чином, те що нагнітальний та всмоктуючий повітряний потік перемикаються по чергові підвищується рівномірність сушіння. Одночасне використання всмоктуючого та нагнітаючого повітряних потоків покращує аеродинамічні умови обтікання качанів кукурудзи, так як формує однорідний направлений потік, на циркуляцію якого необхідно менше енергії. Наявність

однорідного направленої повітряного потоку унеможливилося втрати тепла витоків повітря через нещільності та отвори сушильної камери, тому що повітряний потік від нагнітального вентилятора теплогенератора 3 засмоктується всмоктуючим вентилятором 2, забезпечуючи проходження повітря через шар качанів кукурудзи. Крім цього, застосування теплообмінника 5 забезпечує рекуперацію тепла, що збільшує термічний коефіцієнт корисної дії сушарки [4-9]. За використання всмоктуючого повітряного потоку збільшується рівномірність нагріву шару качанів кукурудзи та зникають локальні зони перегріву та пересушування качанів кукурудзи. Розрідження всередині сушильної камери 1 сприяє інтенсифікації видалення вологи з качанів кукурудзи. В запропонованій принциповій схемі сушарки качанів кукурудзи зерновий пил, захоплений повітряним потоком із шару качанів кукурудзи, осаджується в теплообміннику 5, забезпечуючи низький рівень викидів зернового пилу та теплового забруднення простору навколо сушарки, що поліпшує екологічну ситуацію. Для подальшого розвитку запропонованої сушарки качанів кукурудзи необхідно знайти раціональне значення розрідження всередині сушильної камери 1 і, відповідно, підібрати всмоктуючий вентилятор 2 з необхідною продуктивністю. Також покращити температурне поле шару качанів кукурудзи та епюру швидкостей через шар качанів кукурудзи для забезпечення максимальної однорідності сушіння та збереження якості насіння кукурудзи в качанах.

### Список використаних джерел

1. Особливості сушіння зерна окремих культур. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/23048/> (дата звернення 6.03.2025 р.).
2. Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying. (2014). CRC Press. 1348 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b17208>
3. Обґрунтування використання всмоктуючого повітряного потоку при сушінні зерна. / В. О. Швидя, М. М. Анеляк, С. П. Степаненко // Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник. – Глеваха. (2017). Вип. № 6 (105) - С. 81-86.
4. Rogovskii, I.; Titova, L.; Trokhaniak, V.; Trokhaniak, O.; Stepanenko, S. (2020). Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering, 13(62(1)): 117–128. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11>
5. Кирпа М. Я. Енергозощаджувальні способи сушіння насіння кукурудзи / М. Я. Кирпа, Л. І. Рева, М. О. Стюрко // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. (2012). № 2. С. 71-76.
6. 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>

7. Kaletnik, H. et al. (2024) The usage of the elemental base of the vibratory mill with the spatial circulation movement of material to create drying rig. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 100 NR 3/2024. p. 232-237. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41>

8. Rogovskii, I., Titova, L. L., Trokhaniak, V., Solomka, O. V., Popyk, P., Shvidia, V. O., & Stepanenko, S. P. (2019). Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 57(1), 141–146. [https://doi.org/10.35633/INMATEH\\_57\\_15](https://doi.org/10.35633/INMATEH_57_15)

9. Rogovskii, I.L., Stepanenko, S.P., Novitskii, A.V., Rebenko V.I. (2020). The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 548 (2020) 082057. Vol. 13: 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082057>

УДК 631.313.6:633.1

## ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ І ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ В ПНЕВМОМЕРЕЖАХ

**С. П. СТЕПАНЕНКО**, д.т.н.; **А. Я. КУЗЬМИЧ**, к.т.н.;  
**Д. А. ВОЛИК**, аспірант; **І. С. ПОПАДЮК**  
*Інститут механіки та автоматики АПВ*

Ефективність функціонування пневматичних установок значною мірою залежить від якості проектування та точності розрахункових даних, закладених в основу проектних рішень [1-4]. Проте, існуюча практика проектування часто ґрунтується на неточно визначених передумовах.

Наприклад, при розрахунках пневматичних систем часто ігнорується зміна об'ємної ваги повітря, хоча тиск у мережах може сягати 1500 Па. Це призводить до того, що всмоктувальні пневмоустановки, зокрема пиловловлювачі та розвантажувачі, підбираються на суттєво менший об'єм повітря, ніж фактично необхідно. Внаслідок цього вони працюють зі значним перевантаженням, що негативно впливає на ефективність пилоочищення та збільшує загальну енергоємність пневматичних систем [5-9].

У багатьох випадках застосовуються завищені запаси навантаження на матеріалопроводи, що призводить до збільшення їхніх діаметрів та гідравлічного опору. Якщо врахувати, що для вибору повітрорудної машини розрахунковий опір збільшується щонайменше на десять відсотків для компенсації неврахованих втрат, то майже завжди розрахунковий тиск значно



перевищує фактично необхідний для стабільної роботи пневмомережі. Це викликає зміщення робочої точки системи "машина – пневмомережа" у бік більших витрат і зниження коефіцієнта корисної дії.

При цьому зростає швидкість повітря в матеріалопроводах, а коефіцієнти вагових концентрацій знижуються [4-13]. Енергоємність пневматичних установок у зв'язку з цим зростає настільки, що доводиться замінювати електродвигуни зерноочисних машин на більш потужні або повністю перемонтовувати мережі.

Випробування діючих пневматичних установок на виробництві показали, що 70% досліджених мереж мають підвищену енергоємність у 1,3–2 рази порівняно з розрахунковою. Наприклад, на Фастівському комбінаті в пневмомережі для відходів та висівок електродвигун потужністю 20 кВт після введення мережі в експлуатацію був замінений на двигун потужністю 40 кВт.

Надлишковою, порівняно з потребою, енергоємністю володіють і пневмомережі борошномельних підприємств, випробування пневмомереж на млинах продемонстрували, що їхню енергоємність можна зменшити майже на 25-30%.

Проведені експериментально-теоретичні дослідження показали, що з точки зору енергоємності найбільш економічними є високопродуктивні установки, що транспортують матеріали з мінімальними, але надійними швидкостями повітря. З досліджень також встановлено, що як при проектуванні, так і при експлуатації необхідно уникати коефіцієнтів концентрації матеріалу менше 2 (рис. 1), оскільки за цього значення енергоємність пневмоустановок різко зростає. Низькі концентрації вимагають застосування матеріалопроводів більшого діаметра, а також більших за габаритами та дорожчих розділювачів, пиловловлювачів та повітродувних машин.

Такі установки не тільки мають підвищену енергоємність, але й значно вищу початкову вартість, є дорожчими у монтажі, експлуатації та ремонті. Верхні ж межі концентрації повинні обмежуватися лише тиском, що розвивається машиною, видом її основної характеристики, і лише в деяких випадках – видом транспортованого матеріалу.

Наведені міркування та практика роботи виробничих пневматичних установок свідчать про те, що багато аспектів пневматичного транспорту потребують подальшого поглибленого дослідження з метою встановлення надійних та економічно обґрунтованих норм розрахунку та проектування.

Що стосується розрахункових залежностей для вирішення основного завдання – визначення гідравлічних опорів, то це питання добре вивчене для млинових пневмоустановок. Якщо для таких установок досягнуто гарне співпадіння експериментальних та розрахункових даних, то для складніших за конфігурацією систем вирішення цього питання поки що викликає значні труднощі.

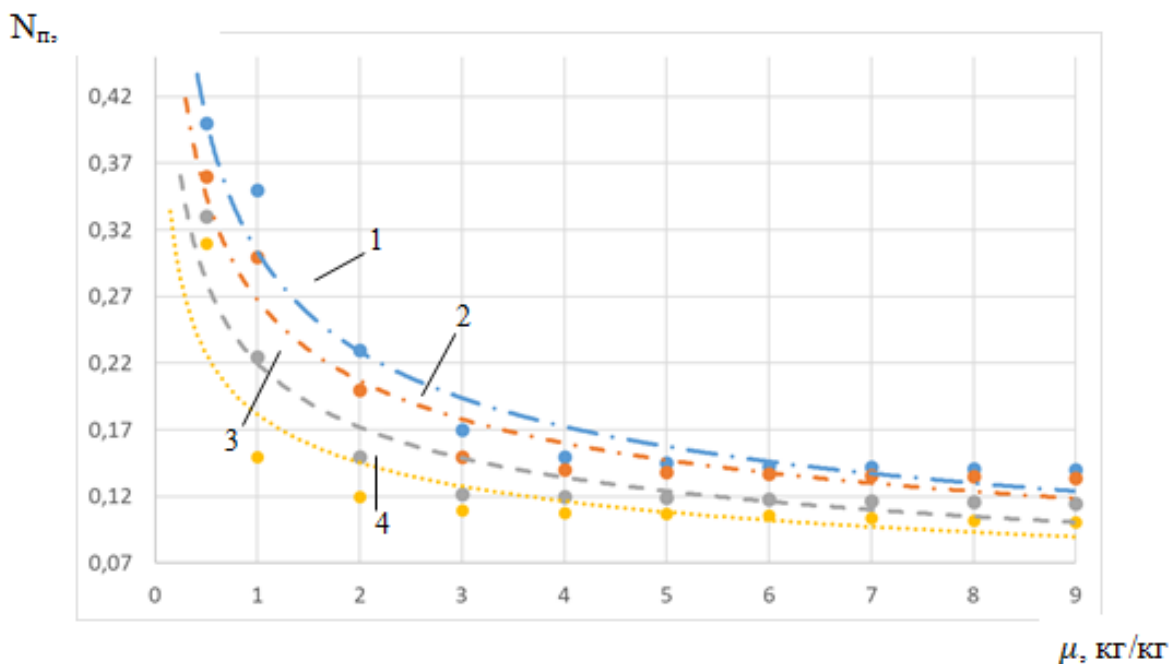


Рис. 1. Залежність питомої енергоємності пневматичних установок від коефіцієнта вагової концентрації пшениці для матеріалопроводів:

1 – 0,075 м; 2 – 0,1 м; 3 – 0,15 м; 4 – 0,2 м;

Попередня обробка експериментальних даних, дозволяє встановити раніше невивчені залежності гідравлічних опорів від цілого ряду параметрів. Наприклад, дослідження показали, що закручування потоку, джерелом якого є місцеві опори, суттєво впливає на гідравлічні опори. Встановлено, що за рахунок цього опір на ділянках за відводами може зрости до 15% залежно від діаметра труби та властивостей транспортованого матеріалу.

Врахування лише цієї обставини допоможе створити більш обґрунтовані практичні розрахункові методики, знизити розрахункові показники та енергоємність ряду нових пневмоустановок на 15-20%.

Вивчено вплив питомої ваги транспортованого матеріалу та положення відводу в просторі на гідравлічні опори. Проводиться робота з пошуку оптимальних профілів труб, що мають мінімальні втрати при пневмотранспорті.

Завершення цих та інших досліджень дозволить створити уточнені практичні методики розрахунку горизонтального та вертикального пневматичного транспорту зернистих та зернових матеріалів.

#### Висновки:

1. Недостатня точність розрахунків. Проблема, коли «існуюча практика проектування виходить з неточно визначених передумов», є фундаментальною. Це нагадує про важливість постійного оновлення нормативної бази та методик розрахунків у будь-якій інженерній галузі. Без точних вхідних даних неможливо отримати ефективний результат.

2. Наслідки завищених параметрів. Збільшення діаметрів матеріалопроводів та підвищений розрахунковий тиск, спричинені завищеними запасами, призводять до значних втрат енергії. Це яскравий приклад того, як «перестраховка» може обернутися економічними збитками та екологічним навантаженням. Оптимізація – це завжди пошук балансу між надійністю та ефективністю.

3. Вплив коефіцієнта концентрації. Зниження коефіцієнта вагової концентрації матеріала (менше 2) різко збільшує енергоемність. Це вказує на те, що для досягнення максимальної ефективності необхідно прагнути до транспортування матеріалу з оптимальною густиною в потоці. Сучасні системи автоматизації та контролю повинні дозволяти підтримувати ці параметри в заданих межах.

4. Проблема "скручування потоку". Відкриття впливу (закручування, викликаного місцевими опорами) на гідравлічні опори є важливим. Це демонструє, що навіть, здавалося б, незначні деталі конфігурації трубопроводу можуть мати суттєвий вплив на загальну енергоефективність системи. Це підкреслює необхідність моделювання та експериментальних досліджень для врахування всіх факторів.

5. Перспективи оптимізації. Зниження енергоемності на 15-20% завдяки врахуванню лише однієї обставини (закручування потоку) є значним показником. Це свідчить про величезний потенціал для покращення існуючих та розробки нових пневматичних систем, які будуть не тільки продуктивними, а й максимально енергоефективними.

### Список використаних джерел

1. Kotov B. I., Stepanenko S. P. (2023). *Osnovy teorii i ta tekhnolohiyi povitryanoyi separatsiyi zernovykh materialiv*. [Basics of the theory and technology of air separation of grain materials]. Kyiv: CP Comprint, 427 p.

2. Stepanenko S.P. Mechanical-technological substantiation of the processes and equipment of sieveless fractionation of grain materials: dissertation Dr. Tech. Sciences: 05.05.11. Glevakha, 2021. 362 p.

3. Степаненко С.П., Анеляк М. М., Кузьмич А. Я., Швидя В. О., Волик Д. А., Коновал О. О., Попадюк І. С. Дослідження впливу ступеня пошкодження зерна в технологічних лініях для очищення зернового матеріалу. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва: загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. Глеваха, 2023. Вип. 2 (116). – С. 88-100.*  
<https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-2-10>

4. Степаненко С. П., Кузьмич А. Я., Борис А. М., Днесь В. І., Волик Д. А. Дослідження фізико-механічних та оптичних характеристик зернових матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2024. Вип. 54. С. 36-46.*  
<https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.36-46>

5. Stepanenko S., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Dnes V., Volyk D., & Kalinichenko R. (2025). A machine vision approach for grain quality control during separation. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12(1), P. E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
6. Степаненко С. П., Днесь В.І., Борис А.М., Кузьмич А.Я., & Волик Д.А. (2024) Алгоритм цифрової ідентифікації зернових матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Вип. 54. С. 153-159. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.153-159>
7. Stepanenko S., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Kalinichenko R. (2025). Smartphone-based machine vision for grain quality assessment. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(2), pp. E14–E21. [http://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).e2](http://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).e2)
8. Степаненко С. П., Кузьмич А.Я., & Швидя В.О. (2024). Інноваційні оптично-електронні технології швидкого аналізу зерна в галузі післязбиральної обробки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ. Запоріжжя: ТДАТУ. Вип. 14, т. 1. С.1-13. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-5>
9. Степаненко С. П., Мироненко В.Г., & Погорілий С.П. (2024). Дослідження факторів пошкодження зерна в процесах сепарації. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ. Запоріжжя: ТДАТУ. Вип. 14, т. 1. С.1-13. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-1>
10. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A., & Kupchuk I. (2023) Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 1, 100-104. <https://doi:10.15199/48.2023.01.19>
11. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, I. Demchuk, V. Melnyk, & D. Volyk. (2024) Modelling of aerodynamic separation of grain material in a combined centrifugalpneumatic separator. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*. Proceedings, Volume 23, May 22-24, 2024 Jelgava, Latvia. p. 1143-1149. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF236>
12. S. Stepanenko, V. Lukach, I. Demchuk, A. Kuzmych, R. Kalinichenko, V. Gerasymenko, & V. Vasylyuk. (2024) Study of the rotary cleaners of the holes of cylindrical sieves on a vibrocentrifugal separator. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, ISSN 0033-2097, R. 100 NR 8/2024. p. 160-163. <https://doi.org/10.15199/48.2024.08.33>
13. S. Stepanenko, D. Volyk, A. Kuzmych, V. Melnyk (2025) Theoretical study of the movement of grain particles in a vibro-aerodynamic field. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1091-1096. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF278>

УДК 633.1:681.78

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ YOLO11 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ

**С. П. СТЕПАНЕНКО**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник;

**А. Я. КУЗЬМИЧ**, кандидат технічних наук, старший дослідник;

**І. С. ПОПАДЮК**, науковий співробітник

**Д. А. ВОЛИК**, аспірант

*Інститут механіки та автоматики  
агропромислового виробництва НААН України*

*E-mail: stepanenko\_s@ukr.net*

Аналіз фракційного складу зерна є критичним на всіх етапах агровиробництва. Велика кількість дрібних чи пошкоджених зерен свідчить про низьку якість врожаю [1, 9], що вимагає постійного контролю для оптимізації післязбиральної обробки та зберігання. Точні дані про склад сировини дозволяють ефективно налаштовувати сортувальні машини, мінімізуючи втрати повноцінного зерна. Крім того, ці показники є базовими у селекції для створення сортів із високою вирівняністю зернівок.

В умовах сучасних елеваторів та зерноприймальних пунктів швидкість оцінки фракційного складу є вирішальною для оперативного коригування параметрів сепарації [2, 10]. Традиційні ручні методи аналізу, попри їхню стандартність, мають суттєві недоліки: вони є трудомісткими, повільними та суб'єктивними, що спричиняє затримки у прийнятті технологічних рішень.

Впровадження технологій комп'ютерного зору та методів аналізу зображень дозволяє значно прискорити процес і підвищити його точність [3-6]. Зокрема, методи глибокого навчання, які здатні самостійно вивчати ознаки безпосередньо з навчальних даних, стають перспективним інструментом для автоматизації контролю якості в аграрній сфері.

Мета дослідження полягає в оцінці ефективності застосування нейронної мережі останнього покоління YOLO11 для ідентифікації морфологічних ознак компонентів зернових сумішей та порівняння отриманих результатів із традиційними методами лабораторного аналізу за показниками швидкодії та достовірності.

Об'єктом дослідження є процес визначення фракційного складу зернових сумішей за допомогою методів комп'ютерного зору та глибокого навчання. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що сучасні архітектури нейронних мереж (зокрема, YOLO-Segmentation) дозволять точно та швидко визначати фракційний склад зернових сумішей озимої пшениці. Цього буде достатньо для практичного застосування в реальному часі.

Для проведення дослідження було прийнято низку припущень, які спрощують умови та дозволяють зосередитись на основній меті. Для



фотографування наважку матеріалу, вагою 40–50 г розподіляли шаром в один шар на аркуші білого канцелярського паперу формату А4 всередині обмежувальної рамки, розміром 200 x 200 мм.

Для формування датасету використовували зерновий матеріал озимої пшениці врожаю 2024р. Відбір проб здійснювали згідно ISO 24333:2009 «Cereals and cereal products – Sampling» з використанням пробовідбірника зерна. Дослідження фракційного складу зернових матеріалів пшениці виконували згідно методики ISO 7970:2021 «Wheat (*Triticum aestivum* L.) – Specification».

Під час аналізу зразки зернового матеріалу озимої пшениці розподіляли на наступні п'ять фракцій: повноцінне зерно, подрібнене зерно, щупле зерно, соломисті домішки, частинки суцвіть (полова). Щупле зерно виділяли з наважки шляхом просіювання на ситі розміром 2,0 мм x 20,0 мм за допомогою лабораторного розсіву РЛУ-3. Інші фракції виділяли вручну.

Анотування зображень було виконано за допомогою інтерфейсу Roboflow Annotate. Після автоматичної генерації масок кожен сегментований об'єкт було вручну перевірено та відкориговано для забезпечення високої точності анотацій. Особливу увагу приділено анотуванню об'єктів, що частково перекриваються, за допомогою масок сегментації, що перетинаються.

Для дослідження фракційного складу зернових сумішей було вибрано моделі глибокого навчання сімейства YOLO11-Segmentation. Ці моделі представляють собою компроміс між швидкістю, точністю та розміром моделі, що робить їх прийнятними для розгортання на периферійних пристроях. Тестування навчених моделей проводили шляхом виявлення об'єктів та їх сегментації на зображеннях реальних зразків зернових матеріалів

За результатами навчання моделей [7] сімейства YOLO11-seg на зібраному дата-сеті, що містив 280 зображень з понад 17 тис. об'єктів п'яти класів зернових матеріалів озимої пшениці, встановлено, що існує компроміс між швидкістю та точністю різних моделей. Збільшення як вхідного розміру зображення, так і складності моделей призводить до кращої локалізації об'єктів, але це супроводжується збільшенням часу обробки зображень. Встановлено, що модель YOLO11m-seg 640 x 640 забезпечує найкращу точність локалізації об'єктів при швидкодії близько 16 FPS. Модель YOLO11s-seg 640 x 640 забезпечує швидкість оброблення 34–35 FPS з досить пристойною точністю. Навчання моделі YOLO11n-seg 1280 x 1280 забезпечило найкращі показники середньої точності сегментації за рахунок підвищення продуктивності визначення об'єктів “складних” класів, що є ключовими для точного визначення фракційного складу зернових сумішей.

**Висновки.** Результати демонструють успішне навчання та порівняльний аналіз моделей сегментації екземплярів YOLO11-seg на спеціалізованому датасеті Отримані результати створюють основи для автоматизації контролю якості зерна, підвищуючи її ефективність, об'єктивність, а також суттєво зменшуючи трудомісткість за рахунок автоматизації рутинних операцій

Дослідження виконано в рамках проекту, що фінансується Національним фондом досліджень України (грант Президента України докторам наук для проведення наукових досліджень і розробок).

### Список використаних джерел

1. Barbedo, J. G. A. (2025). A Review of Artificial Intelligence Techniques for Wheat Crop Monitoring and Management. *Agronomy*, 15(5), 1157. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051157>
2. Zhao, W., Liu, S., Li, X., Han, X., Yang, H. (2022). Fast and accurate wheat grain quality detection based on improved YOLOv5. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202, 107426. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107426>
3. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Kharchenko, S., Borys, A., Dnes, V., Volyk, D., Kalinichenko, R. (2025). A machine vision approach for grain quality control during separation. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, 12(1), E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
4. Stepanenko S., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Kalinichenko R. (2025). Smartphone-based machine vision for grain quality assessment. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(2), pp. E14–E21. [http://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).e2](http://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).e2)
5. Han, K., Zhang, N., Xie, H., Wang, Q., Ding, W. (2023). An improved strategy of wheat kernel recognition based on deep learning. *Dyna*, 98(1). 91–97.
6. Ma, N., Su, Y., Yang, L., Li, Z., Yan, H. (2024). Wheat Seed Detection and Counting Method Based on Improved YOLOv8 Model. *Sensors*, 24(5), 1654.
7. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Borys, A., Dnes, V., Kharchenko, S., Rogovskii, I., Golub, G., Berezovyi, M., Lutsiuk, A. (2025). Substantiating the YOLO11 architecture for determining the fractional composition of winter wheat grain mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (136)), 81–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338124>
8. Кузьмич А.Я., Степаненко С.П., Волик Д.А., Попадюк І.С. (2025) Створення бази даних для системи аналізу та розпізнавання зернових сумішей озимої пшениці з використанням машинного зору. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН*. Глеваха, 2025. Вип. 6 (120). - С. 214-224. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2025-1-23>
9. Степаненко С.П., Днесь В.І., Борис А.М., Кузьмич А.Я., Волик Д.А. (2025) Алгоритм цифрової ідентифікації зернових матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 54. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – С. 153-159. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.153-159>
10. Степаненко С.П., Кузьмич А.Я., Борис А.М., Днесь В.І., Швидя В.О. (2024) Аналіз безконтактних методів контролю геометричних параметрів зернових матеріалів. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва :*

загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. Глеваха, 2024. Вип. 5 (119). - С. 105-116. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2024-2-11>

УДК 631.1: 338.3: 635.1

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЧЕРГИ НА ОВОЧЕСХОВИЩАХ В УНІВЕРСАЛЬНІЙ МОДЕЛІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

С. П. СТЕПАНЕНКО, Р. Б. КУДРИНЕЦЬКИЙ

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України*

На практиці під час експлуатації різних технічних об'єктів, що працюють за принципом систем масового обслуговування (СМО), досить часто доводиться мати справу не лише зі звичною та добре вивченою математичною чергою, але й з іншими типами черг [1-3]. Зокрема, можна розглянути іншу числову характеристику СМО, яка, наприклад, у стандартному звіті системи імітаційного моделювання GPSS, має назву «черга без нульових входів».

У цьому випадку під нульовим входом розуміють такий прихід заявки до системи, при якому в багатоканальному пристрої є, щонайменше, один вільний канал, і в цьому разі заявка, що щойно надійшла, обслуговується негайно.

Таким чином, якщо звичайна математична черга розраховується як середнє значення для всіх заявок, що побували в системі, то черга без нульових входів повинна розраховуватися як середня величина за вирахуванням тих вимог, які були обслуговані негайно, оскільки потрапили в систему в той момент, коли, щонайменше, один з каналів обслуговування був вільний.

Для обчислення параметрів фізичної черги на базі універсальної математичної моделі, розробленої в роботі [4, 5], потрібно переписати умову нормування так, щоб враховувалися лише ті стани системи, які відповідають фізичній черзі. В результаті отримуємо:

$$\sum_{i=m+1}^{m+\varepsilon_h} P_i = 1$$

Тобто наведена умова нормування для розрахунку фізичної черги.

Підставивши відповідні вирази для ймовірностей стаціонарних станів  $P_i$  у цю умову, і розв'язавши отримане рівняння щодо  $P_0$ , отримаємо вираз для величини  $P_0$ , що використовується для розрахунку фізичної черги:

$$P_0 = \left\{ 1 + \sum_{j=1}^m \frac{R_0^j}{j!} + \frac{R_0^m}{m!} \sum_{g=1}^h \left[ \prod_{j=1}^g R_j \right] \left( \sum_{i=m+1}^{m+\varepsilon_h} \frac{R_0^{i-m-1}}{[m+1]! \prod_{j=1}^g R_j} \right) \right\}^{-1}$$

Треба зауважити, що тут  $P_0$  є не ймовірністю нульового стану (ймовірністю повної відсутності заявок у системі), а деяким коефіцієнтом пропорційності, який може бути більшим за одиницю. Фізичний сенс мають лише ймовірності відповідних станів системи  $P_i$ , які для всіх значень  $i > m$  залишаються меншими за одиницю. Для обчислення моментів кількості заявок, які перебувають у фізичній черзі, використовується той самий підхід, що й для математичної черги. Ключова відмінність полягає в тому, що у відповідні формули замість стандартних ймовірностей підставляються  $\tilde{P}_i$ . Ці ймовірності були отримані з урахуванням скоригованої умови нормування, яка враховує лише стани, де існує черга. У результаті, середня кількість заявок, що очікують у фізичній черзі, обчислюється наступним чином:

$$\tilde{I} = \sum_{i=1}^h \left( \frac{R_i}{m - R_i} (\tilde{P}_{bi} - E_i \tilde{P}_{m+\varepsilon_i}), R_i \neq m \right) + \sum_{i=2}^h \varepsilon_{i-1} \frac{R_i}{m} \tilde{P}_{bi}$$

Для часткової моделі системи масового обслуговування (СМО) з повним набором накопичувачів, ймовірності стаціонарних станів системи під час розрахунку фізичної черги визначаються наступними виразами:

$$P_0 = \left\{ 1 + \frac{R_0^m}{m!} + \frac{R_0^m}{m!} \sum_{g=1}^h \left[ \prod_{j=1}^g R_j \right] \right\}^{-1}$$

Тоді моменти числа заявок, що очікують обслуговування у фізичній черзі, мають вигляд:

$$\tilde{I}^{(f)} = \sum_{i=m+1}^{m+h} (i - m)^f \prod_{g=1}^{i-m} \frac{R_g}{m} \frac{R_0^m}{m!} \tilde{P}_0$$

Алгоритм розрахунку моментів часу очікування початку обслуговування заявкою у фізичній черзі ідентичний алгоритму, що використовується для звичайної математичної черги [6, 7]. Ця обставина також вимагає перевизначення відносної пропускну здатності системи. Для універсальної моделі СМО, кінцеві формули для моментів часу очікування заявки у фізичній черзі мають такий вигляд:

$$\tilde{t} = \frac{1}{\tilde{L}} \sum_{i=1}^h \left\{ \frac{R_i}{m - R_i} [\tilde{P}_{bi} - E_i \tilde{P}_{m+\varepsilon_i}] + \frac{R_i}{m} \varepsilon_{i-1} \tilde{P}_{bi} \right\}$$

Фізична черга є більш точною метрикою, ніж звичайна математична, оскільки вона враховує лише ті заявки, які дійсно очікували на обслуговування. Для розрахунку її параметрів, таких як середня довжина черги або час очікування, необхідно коригувати умову нормування, виключаючи стани, де

заявки обслуговуються негайно. Хоча алгоритми обчислення схожі на ті, що використовуються для математичної черги, отримані результати є більш релевантними для реальних систем.

### **Список використаних джерел**

1. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
2. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: навч. посіб. [для студентів техн. спец. вищ. навч. закл.] / В.Б. Толубко, А.Д. Кожухівський, В.В. Вишнівський, Г.І. Гайдур, О.А. Кожухівська. – Київ: 2018. 175 с.
3. Devos A, Walraevens J and Bruneel H. (2024). Analysis of A Two-queue Discrete-time Model with Random Alternating Service Under High Occupancy in One Queue. *Methodology and Computing in Applied Probability*. 26:4. <https://doi.org/10.1007/s11009-024-10109-7>
4. Bruneel, H.; Devos, A. Asymptotic behavior of a system of two coupled queues when the content of one queue is very high. *Queueing Systems* 2023, 105, 189–232.
5. Системне обґрунтування структури та використання технологічних комплексів машин для збирання й післязбиральної обробки врожаю зернових культур: монографія / Днесь В.І., Кудриницький Р.Б., Скібчик В.І., Степаненко С.П. / ІМА АПВ НААН. Ніжин: Видавець Лисенко М.М., 2023. 200с. <https://doi.org/10.37204/imaap.syst.obgruntuv.struktury>
6. Stepanenko S., Kudrynetskyi R., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A. Applied software management of technological process of grain production on the granary. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2022, 17 (21), pp. 1915-1923.
7. Stepanenko S., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Dnes V., Volyk D., & Kalinichenko R. (2025). A machine vision approach for grain quality control during separation. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12(1), P. E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
8. Stepanenko S., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Kalinichenko R. (2025). Smartphone-based machine vision for grain quality assessment. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(2), pp. E14–E21. [http://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).e2](http://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).e2)
9. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A, & Kupchuk I. (2023) Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 1, 100-104. <https://doi:10.15199/48.2023.01.19>
10. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, I. Demchuk, V. Melnyk, & D. Volyk. (2024) Modelling of aerodynamic separation of grain material in a combined centrifugalpneumatic separator. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings*, Volume 23, May 22-24, 2024 Jelgava, Latvia. p. 1143-1149. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF236>



11. S. Stepanenko, V. Lukach, I. Demchuk, A. Kuzmych, R. Kalinichenko, V. Gerasymenko, & V. Vasylyuk. (2024) Study of the rotary cleaners of the holes of cylindrical sieves on a vibrocentrifugal separator. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 100 NR 8/2024. p. 160-163. <https://doi.org/10.15199/48.2024.08.33>
12. S. Stepanenko, D. Volyk, A. Kuzmych, V. Melnyk (2025) Theoretical study of the movement of grain particles in a vibro-aerodynamic field. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1091-1096. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF278>

**УДК 631.365.22**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМНОГО СУШІННЯ КАЧАНІВ  
КУКУРУДЗИ З ПЕРІОДИЧНИМ ВІДЛЕЖУВАННЯМ**

**В. О. ШВИДЯ**, кандидат технічних наук, старший дослідник,  
**М. М. АНЕЛЯК**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України,  
E-mail: [Shvidia@gmail.com](mailto:Shvidia@gmail.com)*

Післязбиральна обробка насіння кукурудзи є одним із ключових етапів забезпечення її збереженості та посівних якостей. Особливої уваги потребує сушіння насіння кукурудзи у качанах, оскільки підвищена вологість насіння сприяє розвитку мікрофлори, самозігрівання та втрат якості під час зберігання. Традиційні конвективні методи сушіння качанів кукурудзи у камерних сушарках, засіках та активним вентиляванням [1, 2] характеризуються значними енерговитратами, нерівномірністю видалення вологи та ризиком термічного пошкодження насіння. Перспективною альтернативою є використання вакуумного сушіння, яке базується на зниженні температури кипіння вологи за зменшення тиску оточуючого середовища. Використання вакууму всередині сушильної камери інтенсифікує масообмін вологою, дає можливість інтенсивно сушити за нижчих температур і зменшує ризик термічного пошкодження насіння, що є особливо важливим для післязбиральної обробки [3].

Застосування періодичного відлежування сприяє внутрішній дифузійній міграції вологи та вирівнювання її градієнтів у насінні. Це також дає можливість зменшити внутрішні напруження, запобігає утворенню тріщин у насінні та підвищує ефективність наступних стадій видалення вологи. Водночас

закономірності вакуумного сушіння качанів кукурудзи з періодичним відлежуванням залишаються недостатньо дослідженими, що обмежує використання даного методу у насінництві.

Метою даної роботи було експериментальним шляхом визначити вплив параметрів вакуумного сушіння з відлежуванням на експозицію сушіння та втрати лабораторної схожості.

Експериментальне дослідження проводили на експериментальному зразку вакуумної барабанної сушарки, в якому використовувалось пристосування з нагрівальними трубами (рис. 1)



Рис. 1 Загальний вигляд експериментального зразка вакуумної барабанної сушарки

У експериментальному дослідженні використовували наважку насіння середньостиглого гібриду кукурудзи ДН «Бахмут» вагою 7,8 кг, вологістю 25,6 %, нагрівали до температури 30 °С за вакууму всередині сушильного барабану 75 кПа.

Температура насіння визначалась датчиком Ds18b20, сигнал якого через передавач сигналів по Bluetooth передавався на щит керування. Поточну вологість качанів кукурудзи вимірювали кожні 30 хв гравіметричним методом [4], вимірюючи різницю мас контрольного зразка. Значення вакууму всередині сушильного барабану контролювали вакуумметром. Процес сушіння вважався закінченим, коли вологість насіння кукурудзи досягала значення 14 %. Після кожних 3 годин сушіння, застосовували режим відлежування на протязі 12 годин.

Для фіксування часу виконання операцій використовувався секундомір, а для заміру поточної вологості качана та продуктивності сушарки також використовувались ваги. Кінетика сушіння качанів кукурудзи гібриду ДН «Бахмут», представлена на рис. 2.

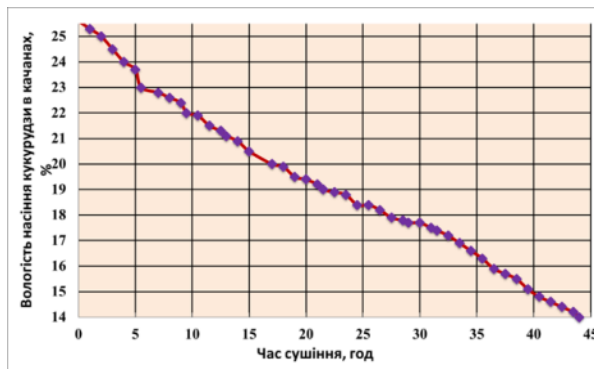


Рис. 2 Кінетика сушіння насіння кукурудзи у качанів гібриду ДН «Бахмут»

Кінетика сушіння качанів кукурудзи гібриду ДН «Бахмут» близька до лінійного. Це пояснюється тим, що у процесі сушіння були затримки, що еквівалентно відлежуванню, за якого вологість зовнішніх частин насінини вирівнювалась із внутрішніми. Завдяки відлежуванню не було процесу спадаючої швидкості, що характеризує дифузійні процеси у насінні, а відбувався період постійної швидкості, що характеризує випаровування вологи з поверхні капіляр. При цьому втрат лабораторної схожості не спостерігалось, а сила росту збільшилась на 4 %, що свідчить про стимуляцію до пророщування завдяки періодичним змінам тиску всередині сушильної камери.

Таким чином, застосування вакуумного сушіння качанів кукурудзи з періодичним відлежуванням дає можливість сушити з однаковою швидкістю на протязі всього процесу та стимулювати до пророщення за рахунок періодичної зміни тиску всередині сушильної камери.

### Список використаних джерел

1. Кирпа М. Я., Рева Л. І., Стюрко М. О. .Енергозаощаджувальні способи сушіння насіння кукурудзи. // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2012. № 2. С. 71–76.
2. Особливості сушіння зерна окремих культур. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/23048/> (дата звернення 11.02.2026 р.).
3. Shvidia, V., Stepanenko, S., Kotov, B. et al. (2022). Influence of vacuum on drying of seeds of grain crops. Bulletin of the Karaganda University. Physics series, vol. 3 (107), 90–98. <https://doi.org/10.31489/2022PH3/90-98>.
4. Визначення вологості зерна без вологоміра — Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=q6xabmDTsRc> (дата звернення 10.10.2025 р.).

УДК 631.313.6

## ВПЛИВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВОЇ БОРОНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

**В. В. ТЕСЛЮК**, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

**О. М. ВЕЧЕРА**, старший викладач

**А. М. КАЗЬМІРУК**, студент,

*E-mail:* [vtesluk@ukr.net](mailto:vtesluk@ukr.net)

Обробіток ґрунту один з важливих складників в системі агротехнічних заходів у виробництві продукції рослинництва. Саме цей складник спрямований на покращення всього комплексу умов розвитку рослин.

Мета роботи-підвищення якості обробітку кореневмісного шару ґрунту та оптимізація його агротехнологічних властивостей шляхом застосування ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційними робочими органами.

Результати наукових досліджень та вивчення практичного досвіду показали, що при застосовуванні знаряддя з серійними робочими органами не повною мірою задовольняють агротехнічним вимогам щодо заробки добрив, рослинних решток. Тому, необхідне обґрунтування технологічного процесу спрямованого на покращення заробки та розробка ротаційних органів ґрунтообробних машин відповідно до зазначених ґрунтових умов.

Робочі органи дискової борони (сферичні диски) забезпечують високу ефективність обробітку шляхом інтенсивного кришіння, перемішування ґрунту з поживними рештками та підрізання бур'янів. Що стосується механічних засобів то основними регульованими параметрами, які визначають інтенсивність впливу робочих органів на ґрунт необхідно відзначити наступні:

Глибина обробітку: Глибина заглиблення робочих органів прямо пропорційна куту атаки. Зазвичай він становить від 12° до 25°. Вибір кута атаки є відповідальним етапом при розробці вихідних даних для проектування борін і луцильників. Діапазон регулювання кута атаки широкий. Так, для дискових луцильників він досягає 30 ... 40 °, у дискових борін - не більше 25 °. На дискових борах зарубіжного виробництва і деяких вітчизняних моделях кут атаки не регулюється і складає 18 ... 20 °.

Якість кришіння та перемішування: Зі збільшенням кута атаки покращується ступінь подрібнення ґрунту, інтенсивність перемішування його з поживними залишками та ширина захвату кожного окремого диска.

Підрізання бур'янів: Вищий кут атаки забезпечує повніше підрізання кореневої системи бур'янів.

Визначеними конструктивно-технологічними факторами, які необхідно дослідити і обґрунтувати є геометрія та тип диска. Проаналізуємо їх вплив:

- **Діаметр:** Чим більший діаметр диска, тим більшу глибину обробітку він може забезпечити. Наприклад, диски діаметром 510 мм стандартно працюють на глибину до 15 см.
- **Сферичність (ввігнутість):** Сферична форма дозволяє диску піднімати пласт ґрунту, що критично важливо для якісного перемішування добрив та решток. Нахил диска до вертикалі також знижує тяговий опір агрегату.
- **Форма кромки (вирізи):** Диски типу «ромашка» (з вирізами) краще подрібнюють грубі рослинні залишки (кукурудза, соняшник) та легше проникають у сухий, твердий ґрунт порівняно з гладкими дисками.

На підставі аналізу існуючих конструкцій робочих органів ротаційних ґрунтообробних знарядь та за результатами узагальненої порівняльної оцінки ротаційних робочих органів запропоновано удосконалення конструкції ротаційного кільцевого робочого органу, яка б запобігала руйнуванню конструкції даного робочого органу.

Встановлено, що значення радіусу кривизни  $r$  удосконаленого кільцевого робочого органу для уніфікованого діаметра ( $D = 660\text{мм}$ ) залежить від величини лінійного розміру  $b_k$  (ширина кільця) та кута тертя ґрунту  $\varphi$  по робочій поверхні і становить 640мм;

- профіль вирізних вікон полотна пропонованого ротаційного робочого органу має форму еліпса, видовжена менша вісь якого становить 188мм; більша вісь – 344мм, що визначає радіус спряження спиця→кільце  $R = 20\text{мм}$ ;
- мінімальна ширина спиці  $b = 50\text{мм}$ ;
- ширина кільця  $b_k = 46\text{мм}$ ;

За результатами польових досліджень дискової борони БДН-1,8, оснащеною пропонованими робочими органами, встановлено:

- кількість агрегатів ґрунту, які не відповідають агрономогам з точки зору ерозійної стійкості, зменшилась на 28,1% до фону, та на 7,0% до базового варіанту (дискова борона БДН-1,8 оснащена робочими органами за ОСТ 23.2.147-85);
- коефіцієнт структурності в порівнянні з базовим варіантом збільшився на 12,9%.

**Висновок:** Правильне обґрунтування параметрів робочих органів дозволяє досягти балансу між якісним розпушуванням (кришінням) та збереженням структури ґрунту, уникаючи його надмірного пересушування, що особливо важливо в посушливих регіонах.

### Список використаних джерел

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник [Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.]. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
2. Смолінський С., Марченко В. Фактори, що визначають якість роботи знарядь. AGROEXPERT. 2016. URL: <https://www.agroexpert.ua/ru/faktori-so-viznacaut-akist-roboti-diskovih-znarah>.



3. Основні технологічні помилки при обробці ґрунту та їх запобігання. Галещина машзавод. 2019. URL: <https://galmash.com.ua/ua/news/osnovnye-tehnologicheskie-oshibki-pri-obrabotke-pochvy-ih-predotvraschenie>.

**УДК 631**

## **ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТИВ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ПРИ ВИРОЩУВАННІ КАРТОПЛІ**

**О. С. ДЕВ'ЯТКО, М. І. ДЕНИСЕНКО,  
В. А. ВОЛЬСЬКИЙ, Б. В. ДОНЧЕНКО**

Альтернативні види палива є досить перспективним напрямком дослідження та використання їх в засобах агропромислового комплексу. Такими різновидами виступають можливості використання сонячної енергії, сили вітру, застосування динаміки води, біоенергетики тощо. Саме їх використання дозволяє розв'язати питання покращення стану сфери довкілля, особливо гостро ця тема стосується господарств аграрного сектору, де є наявні органічні матеріали (рослинні олії та тваринні жири).

Використання альтернативних видів палива (біодизель чи етанол) для експлуатації машинно-тракторних агрегатів передбачають можливість наявності змін в конструкції трактора з формуванням умов застосування біопалива.

Експлуатація конструктивно змінених тракторів, як гусеничних так і колісних, у складі машинно-тракторного агрегату дозволяє планувати організаційні заходи для виконання ними технологічних процесів за встановлені агротехнічні строки орієнтуючись на стан ґрунту та кліматичних умов відповідно до територіального розміщення господарства.

Засади яких слід дотримуватися при комплектуванні машинно-тракторних агрегатів передбачають орієнтацію забезпечення вимог здійснення технологічних операцій за показниками якості, при цьому продуктивність таких агрегатів має бути максимальною одночасно з цим витрата паливно-мастильних матеріалів має прямувати до мінімально можливого показника, що дозволить сформувати сприятливий стан подальшої реалізації технологічних операцій зазначених у технологічній карті на вирощування картоплі.

Отже, на дієвість технології вирощування такої агрокультури, як картопля впливає досконалість підбору енергетичного засобу, що забезпечує виконання технологічної операції садіння. Конструктивно змінений трактор з можливістю роботи на альтернативних видах палива у складі з сільськогосподарською машиною в умовах експлуатації дозволяє використання у господарстві згідно

швидкісного режиму відповідно стану ґрунту, при цьому час виконання процесу садіння без дозаправлення зростає за рахунок наявних модифікацій.

### **Список використаних джерел**

1. Operation of machines and equipment: educational manual / Yaroslav Mykhailovych, Olena Deviatko, Michael Tuziuk – Kyiv: NUBiP of Ukraine, 2023 p.- 212 p.
2. Modelling of the process of vibromechanical activation of plant raw material hydrolysis for pectin extraction. I Palamarchuk, M Mushtruk, V Sukhenko, V Dudchenko, L Korets, ...Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo 14 (1)
3. An increase in the service life and reliability of machines' structural components using innovative engineering solutions O Deviatko, M Denisenko, M Mushtruk, N Kanivets, N Slobodyanyuk, Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, 14-24

**УДК 631**

## **МОЖЛИВОСТІ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ**

**О. С. ДЕВ'ЯТКО, М. І. ДЕНИСЕНКО,  
В. А. ВОЛЬСЬКИЙ, Д. П. ГОМЕНЮК**

Вага ґрунтообробних агрегатів у структурі використання при розгляді технологічних карт по вирощуванню сільськогосподарських культур є досить солідною. Отримання високого прибутку залежить в першу чергу від запланованої врожайності агрокультури, яка закладається при формуванні технологічної карти, що в свою чергу зумовлена сукупністю заходів агротехніки.

Технологічні операції, що виконуються при підготовці ґрунту та внесенні мінеральних добрив передбачають наступні дії, такі як, лушення стерні, внесення добрив (як органічних так і мінеральних), оранку, боронування та культивування.

Застосування машинно-тракторних агрегатів на операції лушення стерні дозволяє покращити врожайність агрокультури. Робота ґрунтообробного агрегату у складі з сільськогосподарською машиною (луцильником) передбачає забезпечення кута атаки на відповідну глибину виконання операції. При цьому слід враховувати спосіб руху агрегату й також здійснювати контроль якості виконання операції з обробітку ґрунту.

Внесення органічних добрив залежить від виду агрокультури, що визначає його норму. Сільськогосподарські машини, які гарантують вчасне

долучення добрив у ґрунт мають рівномірно його розподілити за шириною та довжиною ділянки.

Мінеральні добрива вносять суцільним способом, а дієвість сільськогосподарських машин оцінюється за продуманістю процесу виконання (змішування, навантаження, транспортування, внесення).

Оранку проводять відповідно до агростроків вирощування сільськогосподарської культури забезпечуючи задану глибину обробітку. Добротність виконання оцінюється вірно скомплектованим машинно-тракторним агрегатом разом зі способом руху без наявних огріхів та оборотом пласта ґрунту.

Процес культивування повинен розпушити землю з повним підрізанням бур'янів без перевертання вологого шару, що знаходиться в нижній частині. Вибраний спосіб руху при виконанні ґрунтообробних робіт за наведеної операції в кінці передбачає заходи з обробітку поворотних смуг.

Зменшення гребенистості поля задовольняє операція боронування, яка перевіряється візуально за рівномірністю розпушування та рівністю поля без наявних огріхів.

Коткування в господарствах застосовують з метою ущільнення ґрунту при чому вологість, яка перебувала в нижніх шарах зміститься до верхніх, що сприяє проростанню зерна Технологічний захід – коткування, має бути виконаний без пропусків з виключенням вагового показника ущільнення на зволжених поверхнях та недозволжених.

Використання ґрунтообробних агрегатів при виконанні технологічних процесів окреслюється відповідно до нормативів, які стосуються можливості відновлення робочих органів і підвищення їх надійності та якісного обслуговування.

### **Список використаних джерел**

1. Operation of machines and equipment: educational manual / Yaroslav Mykhailovych, Olena Deviatko, Michael Tuziuk – Kyiv: NUBiP of Ukraine, 2023 p.- 212 p.
2. An increase in the service life and reliability of machines' structural components using innovative engineering solutions O Deviatko, M Denisenko, M Mushtruk, N Kanivets, N Slobodyanyuk, Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, 14-24
3. Application of nanomaterials and nanotechnologies to increase the durability of agricultural machinery working bodies M Denisenko, O Deviatko, N Kanivets, N Mushtruk, M Tuziuk Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, 371-381

УДК 631.356.4

## ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ ПІД ОЗИМИЙ РІПАК

**В. В. КРИВОБОК**, студент магістратури,  
**В. М. МАРТИШКО**, кандидат технічних наук,  
*НУБІП України,*  
*E-mail: vm.mart@ukr.net*

Якість передпосівного обробітку ґрунту є визначальним фактором реалізації потенціалу інтенсивної технології вирощування ріпаку. Ключовою вимогою є формування дрібногрудкуватої структури, що забезпечує оптимальний контакт насіння з ґрунтом та рівномірність сходів.

Сучасний підхід передбачає пріоритетне використання комбінованих агрегатів, які за один прохід виконують комплекс операцій: суцільну культивуацію та глибоке розпушування за тракторною колією; вирівнювання мікрорельєфу поверхні поля; подрібнення грудок та зворотне ущільнення.

Серед засобів механізації широке застосування знаходить культиватор КПН-8 «Вакула». Агрегат призначений для роботи в різних ґрунтово-кліматичних зонах (крім кам'янистих ґрунтів) із робочою глибиною 5 – 15 см. Використання стрілчастих лап (270 мм) на жорстко закріплених стійках гарантує стабільність глибини обробітку та запобігає виглибленню робочих органів на щільних ділянках.

Основним лімітуючим фактором моделі є ризик надмірного ущільнення ґрунту при роботі в умовах підвищеної вологості, що може негативно вплинути на аерацію та розвиток кореневої системи ріпаку.

Для забезпечення прецизійної глибини загортання насіння та створення оптимального водно-повітряного режиму критично важливим є використання комбінованих агрегатів типу Lemken System-Kompaktor. Конструкція агрегату дозволяє за один прохід сформувати ідеально підготовлене посівне ложе, що є базовою умовою для отримання рівномірних сходів озимого ріпаку. Передній трубчасто-планчастий коток проводить попереднє вирівнювання мікрорельєфу та подрібнення великих фракцій ґрунту. Два ряди стрілчастих лап на паралелограмній підвісці здійснюють суцільне розпушування на задану глибину (від 2 см), формуючи стабільну «тверду підощву». Система задніх котків завершує процес інтенсивного подрібнення грудок та забезпечує зворотне ущільнення верхнього шару.

Важливе місце в ланійці техніки для підготовки ґрунту під ріпак посідає універсальний культиватор Köckerling Vector. Його конструктивні особливості дозволяють адаптувати інтенсивність обробітку до змінних польових умов у режимі реального часу.

**Висновки.** Агрегати Lemken та Farnet забезпечують вищу рівномірність глибини на легких та середніх ґрунтах завдяки секційному компонуванню. КПН-8 демонструє кращу стабільність на важких, переущільнених ґрунтах за рахунок жорсткої фіксації стійок. Farnet Компрактомат є найбільш технологічно досконалим для ріпаку, оскільки виконує 7 операцій за один прохід, що критично для збереження вологості в передпосівний період.

КПН-8 «Вакула» є більш доступним рішенням для господарств зі змішаним парком техніки, проте потребує суворого контролю вологості ґрунту для уникнення надмірного ущільнення катками.

**УДК 631.34**

## **АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ СУЧАСНИХ СІВАЛОК**

**О. О. ПАВЛІШИН**, студент,  
**В. М. МАРТИШКО**, кандидат технічних наук,  
**НУБІП України,**  
*E-mail: vm.mart@ukr.net*

Сівба є найбільш важливою технологічною операцією у рослинництві, оскільки саме на цьому етапі закладається біологічний потенціал урожайності. Якість реалізації цього процесу безпосередньо залежить від технічного рівня та конструктивної досконалості висівного апарату — ключового робочого органу сівалки. Його головним завданням є точний відбір насіння із загальної маси та забезпечення їхнього рівномірного розподілу в рядку згідно із заданими агротехнічними параметрами.

Сучасний стан розвитку сільськогосподарського машинобудування демонструє значну варіативність конструкційних рішень. За принципом дії висівні системи класифікують на механічні, пневматичні та комбіновані. Механічні апарати (котушкові, ложкові, комірчасті, шнекові, чашкові) вирізняються конструктивною простотою, проте мають обмеження щодо робочої швидкості та схильність до механічного травмування насіння.

Пневматичні висівні системи на сьогодні є домінуючими у сегменті точного висіву. За типом створення повітряного потоку вони поділяються на:

Вакуумні (розрідженого тиску): застосовуються у сівалках СУПН-8, СПЧ-6, СПБ-8К, а також агрегатах брендів Gaspardo, Nodet-Gougis, Ribouleau. Вони забезпечують високу точність при роботі з насінням каліброваних фракцій.

Нагнітальні (надлишкового тиску): представлені в моделях фірм Karl Becker, International Harvester (Cyclo). Пневматичний принцип дозволяє



мінімізувати травмування насіннєвого матеріалу та стабілізувати процес дозування.

Окрему перспективну групу становлять пневмомеханічні та електромеханічні системи. Вони поєднують переваги пневматичного транспортування з точністю механічних відсікачів «двійників» та інтелектуальним керуванням. Впровадження індивідуальних електроприводів замість механічних передач дозволяє реалізувати систему змінної норми висіву (VRA) та автоматичне відключення секцій на перекриттях. Подальше вдосконалення апаратів спрямоване на підвищення їхньої універсальності та адаптацію до високошвидкісного посіву (понад 12 – 15 км/год) без втрати якості розкладки насіння.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз свідчить, що еволюція висівних апаратів спрямована на перехід від простих механічних систем до високотехнологічних пневмомеханічних агрегатів з інтелектуальним керуванням. Хоча вакуумні системи залишаються найбільш затребуваними завдяки своїй універсальності, майбутнє точного землеробства належить апаратам з індивідуальним електроприводом. Це дозволяє не лише забезпечити максимальну точність розподілу насіння на високих швидкостях (понад 15 км/год), а й інтегрувати сівалки в цифрові системи управління для реалізації технологій диференційованого посіву. Подальші дослідження мають бути зосереджені на оптимізації аеродинамічних параметрів висівних каналів для мінімізації рикошету насіння в борозні.

**УДК 631.171: 633.63**

## **АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ МЕХАНІЗАЦІЇ ГРЕБЕНЕВОЇ ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ ДО СІВБИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**В. В. ТЕСЛЮК**, доктор сільськогосподарських наук, професор,

**В. В. ГОЛУБ**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**М. І. ІКАЛЬЧИК**, кандидат технічних наук, доцент

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*

*E-mail: [vtesluk@ukr.net](mailto:vtesluk@ukr.net)*

Вирощування коренеплодів цукрових буряків, як сировини для отримання цукру, й інших продуктів для забезпечення кормової бази тваринництва так і для агрофізичного регулювання стану ґрунтів вимагає адаптивного зонального підходу до технологічного обґрунтування і впровадження в агропромислового виробництва.

Підготовка ґрунту під сівбу цукрових буряків є критично актуальною,

оскільки вона забезпечує створення ідеальної поверхні поля для проходу посівного агрегату і як наслідок посівного ложа (рівного за глибиною створення, з дрібногрудочкуватою структурою), що гарантує рівномірність сівби а в результаті дружні сходи, ефективне засвоєння вологи та живлення, запобігає деформації коренеплодів і ущільненню ґрунту. Неякісна підготовка поля призводить до нерівномірних сходів, зниження врожайності та цукристості.

Агротехнічна особливість вирощування цукрових буряків характеризується тим, що в період свого росту рослини постійно перебувають в умовах екологічного стресу, спричиненого як об'єктивними, так і суб'єктивними факторами. Вони ростуть в умовах негативного впливу шкідливих патогенів, нерегламентованого внесення пестицидів і добрив, а також інших несприятливих факторів. Значиму роль в зниженні впливу наведених факторів відіграє своєчасність і якість виконання технологічних операцій вирощування цукрових буряків. Значиму роль відіграють зональні технології основного обробітку і передпосівної підготовки ґрунту, дотримання вимог сівби та догляду за рослинами цукрових буряків.

Багаторічні результати наукової інформації виробничих і дослідних установ показують, що цукрові буряки є надзвичайно вимогливими до якості передпосівної підготовки ґрунту. Вказується, що для збільшення урожайності і якості продукції цукрових буряків особливе значення належить впровадженню розроблених і науково апробованих зональних інтегрованих ефективних агротехнологічних прийомів і технічних засобів для передпосівного обробітку ґрунту.

Основними вимогами, які повинні бути забезпечені механізованими прийомами підготовки ґрунту з послідуною сівбою цукрових буряків визначено наступні:

- Рівномірність сходів: Цукрові буряки потребують дуже точного висіву (3-4 см), тому рівна поверхня (висота гребенів <2 см) без великих грудок є запорукою того, що насіння отримає рівномірну вологу.
- Збереження вологи: Вчасне закриття вологи навесні (боронування) запобігає випаровуванню запасів води, необхідних для проростання.
- Розвиток коренеплоду: Глибоке розпушування та боротьба з ущільненням ґрунту (наприклад, усунення «плужної підшви») дозволяють кореню рости прямо, без деформацій, що критично для врожаю.
- Аерація та структура: Буряки люблять пухкий, добре аерований ґрунт. Використання комбінованих агрегатів (наприклад, «Європак», «Компактор») дозволяє за 1-2 проходи вирівняти, подрібнити грудки, розпушити та ущільнити ложе.

- Економічна ефективність: Оптимальна підготовка ґрунту знижує витрати на подальший догляд та забезпечує максимальну продуктивність культури.

Основний показник, якого потрібно досягти перед сівбою полягає в створенні дрібногрудчуватого шару ґрунту на глибину 4-5 см (грудочок ґрунту розміром 1-10 мм повинно бути 80 - 90% ; грудочок більше 30 мм бути не повинно), вирівненість поля була однорідною, а висота гребенів після проходу агрегату не перевищувала 2 см. Щільність ґрунту повинна становити 1,1...1,3 г/см<sup>3</sup>. Досягнення таких показників вказує на оптимальне співвідношення між ґрунтом і його повітряною пористістю, що в подальшому забезпечує дружні сходи висіяного насіння та хороший розвиток рослин впродовж всього вегетаційного періоду.

Метою досліджень є підвищення ефективності вирощування цукрових буряків шляхом мінімізації передпосівного обробітку ґрунтів важких за механічним складом під сівбу цукрових буряків.

Результати досліджень передпосівного обробітку ґрунтів важких за механічним складом під сівбу цукрових буряків за традиційною технологією показують, для створення необхідної структури ґрунту весною виконується 3 - 5 операцій, що призводить до переущільнення ґрунту. Встановлено, що переущільнення ґрунту погіршує його структуру, аерацію, водопроникність, нітрифікаційну здатність, мікрорельєф, умови проведення послідовних польових робіт, знижує ефективність дії мінеральних добрив, підвищує тяговий опір ґрунтообробних машин, збільшує затрати енергії і витрату пального на одиницю оброблюваної площі на 17-19 відсотків. Виходячи із приведеного аналізу вирощування цукрових буряків на ґрунтах важких за механічним складом, виникає необхідність мінімізації проходів машин весняного передпосівного обробітку ґрунту під сівбу.

Отже, в результаті аналізу і розгляду перспективних технологій вирощування цукрових буряків встановлено, що впровадження гребеневої підготовки ґрунту до сівби насіння в зонах, які характеризуються ґрунтами важкими за механічним складом, забезпечує створення достатніх показників агротехнічних вимог підготовки ґрунту, що призводить до збільшення вегетаційного періоду і підвищення продуктивності цукрових буряків, а також до скорочення матеріальних і енергетичних ресурсів.

### Список використаних джерел

1. Операционная технология возделывания сахарной свеклы. В.С. Глуховский, Н.М. Зуев, С.А. Забаштанский и др. – К.: Урожай, 1988, 240 с.
2. Дубровін В.О. Дослідження ефективності технології і техніки мінімізації весняного передпосівного обробітку ґрунту під сівбу цукрових буряків / В.О. Дубровін, В.В. Теслюк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і

енергетика АПК» / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 1. – С. 11 – 17.

3. Теслюк В.В. Технологічне обґрунтування мінімалізації передпосівного обробітку ґрунту під сівбу цукрових буряків / В.В. Теслюк, В.В. Теслюк, В.М. Барановський // Збірник тез доповідей 70-ї Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції „Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних систем природокористування” (14-18 березня 2016 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – С. 96 – 97.

**УДК 631.362**

### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ**

**В. В. ТЕСЛЮК**, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**М. І. ІКАЛЬЧИК**, кандидат технічних наук, доцент

*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*

**А. В. ШЕВЧУК**, викладач, *Мирогощанський аграрний фаховий коледж*

*E-mail: [vtesluk@ukr.net](mailto:vtesluk@ukr.net)*

Збільшенню валового збору картоплі, а також площ її обробітку сприяють удосконалення конструкції комплексу машин для післязбирального обробітку. На сьогоднішній день такі конструкції в Україні недосконалі через відсутність сучасних технологій і технічних засобів для підвищення якості сортування бульб, що дуже важливо, тому що їхній однорідний фракційний склад сприяє збільшенню лежкості і збереженню цінних властивостей бульб під час закладання їх на зберігання.

В Україні відсутні машини які якісно виконують технологічні операції післязбиральної обробки картоплі, здатні скласти конкуренцію зарубіжним виробникам сільськогосподарських машин.

Зарубіжні аналоги хоча й дають змогу виконувати агротехнічні вимоги, але теж не позбавлені недоліків використання їх у ґрунтово-кліматичних умовах, особливо для вирощування сортів вітчизняної селекції під час виконання технологічного процесу післязбирального обробітку - перед закладанням на зберігання з метою зниження мінімальних втрат та збереження високих споживчих якостей насіннєвої, продовольчої картоплі, а також картоплі, яка йде на переробку.

Наявні на сьогодні лінії для сортування картоплі спричиняють ушкодження на товарну продукцію (унаслідок взаємодії бульб картоплі між

собою з робочими органами і грудками ґрунту) і, крім того, не забезпечують необхідної точності сортування [1].

Виходячи з цього, розробка технічних засобів, що дають змогу підвищити ефективність машин для сортування картоплі під час післязбирального обробітку, є актуальним науковим і практичним завданням.

З метою підвищення якості післязбиральної обробки бульб картоплі необхідно розглянути й обґрунтувати основні параметри автоматизованої оптичної системи сортування бульб із застосуванням технічного зору. Для оцінки можливості підвищення якості товарної продукції овочевих культур і обробки бульб картоплі розглянемо детальніше блок, що визначає післязбиральний обробіток: відокремлення домішок, сортування за фракціями.

Ефективне виконання операцій післязбиральної обробки бульб картоплі забезпечується за умови об'єднання різних робочих органів і пристроїв у єдину технологічну лінію [2], та містить у собі: приймальний бункер, завантажувальний транспортер, модуль для сепарування, сортувальний модуль, перебиральний стіл.

Для визначення найбільш значущих параметрів, що впливають на процес сортування бульб картоплі, з урахуванням визначення режимів роботи та конструктивних параметрів розроблюваного пристрою автоматичного сортування, було проведено лабораторні дослідження.

В основу методики проведення експериментів обрано методику багатофакторного планування. Для кожного фактора обрано три рівні: нижній, верхній і основний - нульовий рівень. Після цього було встановлено інтервал варіювання факторів.

Як критерій оптимізації в нашому випадку прийнято точність сортування бульб картоплі на розмірні фракції. Результати обробки експериментальних досліджень виконували відомими методами статистичної обробки.

З метою вивчення процесу післязбиральної обробки бульб картоплі проводилися експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження проводилися відповідно до методики СТО АІСТ 10.15-2013 "Випробування сільськогосподарської техніки. Машини для післязбиральної обробки картоплі. Методи оцінки функціональних показників"[3].

За результатами огляду продукцію в кожній із вибірок відносили до відповідної фракції, залежно від дотримання певних стандартів.

Продукція належить до дрібної фракції - за маси від 25 і до 50 грамів, до середньої фракції - масою від 50 до 80 грамів, від 80 грамів і вище - до великої фракції.

Далі було проведено експериментальні дослідження на лабораторній установці.

Поєднання операцій дасть змогу скоротити тривалість технологічного процесу та кількість робітників, знизити травмованість бульб картоплі.

Також, одним зі значущих факторів, що характеризують якість роботи сортувальних пристроїв, є точність сортування під час післязбиральної



обробки. Точність сортування бульб картоплі за розмірно-масовими характеристиками залежить від сорту картоплі, розмірної ознаки для поділу, фракційного складу, а також конструктивних особливостей виконавчих робочих органів сортування

Відповідно до отриманих даних розмірно-масових характеристик бульб картоплі, спосіб автоматичного керування процесом сортування бульб картоплі здійснюється таким чином.

Аналізовані бульби картоплі порційно з приймального бункера за допомогою передавального транспортера надходять на очищувач вороху. Далі поштучно бульби транспортером інспекційного столу переміщуються в зону контролю, де встановлено камеру технічного зору.

Камера визначає максимальні лінійні параметри - щонайменше значення двох основних розмірів кожної бульби картоплі, що перебуває в зоні контролю, - довжини та ширини.

Отримані числові значення передаються в блок управління сортувального пристрою, в якому відбувається обробка даних, що надійшли, шляхом перемноження їхніх значень одне на одне та отримання розмірної характеристики кожного з об'єктів.

Залежно від отриманих значень блоком управління виробляється і передається відповідний електричний сигнал виконавчому механізму (наприклад, пружно-еластичному робочому органу), який направляє бульби до місткостей згідно з їхніми розмірними фракціями.

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення чинників, що впливають на процес сортування бульб картоплі лінії післязбиральної обробки картоплі з автоматизованою оптичною системою було визначено фізико-механічні властивості та розмірно масові характеристики бульб картоплі, виявлено чинники, що охоплювали технологічні, конструктивні параметри технічних засобів для сортування: подачу картопляного вороху, поступальна швидкість руху транспортера сортувального столу, час спрацьовування виконавчого механізму сортування.

Лабораторні дослідження проводилися з метою визначення оптимальних технологічних параметрів автоматизованої оптичної системи сортування бульб картоплі та підтвердження відповідності необхідних характеристик у лабораторних умовах. Для опрацювання результатів багатофакторного експерименту було використано комп'ютерну програму "STATISTICA" і було отримано значення функцій відгуку - коефіцієнт точності сортування бульб картоплі

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень встановлено, що оптимальні технологічні параметри лінії післязбиральної обробки картоплі з автоматизованою оптичною системою сортування бульб за поступальної швидкості руху транспортера сортувального столу 0,9 м/с, подачі бульб картоплі - 0,5 кг/с, часу спрацьовування виконавчого механізму сортування 1,5 с.

### Список використаних джерел

1. Барановський В.М., Онищенко В.Б., Соломка В.О. Напрямки вдосконалення сепарувальних робочих органів коренезбиральних машин. Збірник наукових праць НАУ „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том XII. Київ. 2002. С. 31-42.
2. Грушецький С.М. Аналіз сучасних технологій вирощування і збирання картоплі. Збірник наукових праць ПДАТУ. Вип. 24, час. 2 (технічні науки). 2016. С. 55-64.
3. Яропуд В. М., Твердохліб І. В., Спірін А. В. Машина та обладнання і їх використання в рослинництві: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.

УДК 631.354

### ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ СМУГОВОГО ОБПРИСКУВАННЯ РОСЛИН СОНЯШНИКУ

**В. В. ТЕСЛЮК**, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**М. І. ІКАЛЬЧИК**, кандидат технічних наук, доцент  
*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*

**І. П. НАУМЕНКО**, викладач,  
*Мирогощанський аграрний фаховий коледж*

*E-mail: [vtesluk@ukr.net](mailto:vtesluk@ukr.net)*

Величезний вплив на формування врожайності культури має й операція хімічного захисту рослин від хвороб і шкідників. Адже в структурі витрат ця операція становить у середньому 20% і передбачає проведення низки заходів зі знищення шкідників, збудників хвороб упродовж усього періоду росту соняшнику [1]. Тому в технологічному процесі обприскування необхідно домагатися дієвих поєднань агротехнічних і хімічних способів захисту просапних культур із використанням інноваційних технічних засобів. Таке поєднання дасть змогу сільгоспвиробникам одержувати за мінімальних економічних та енергетичних витрат із найменшим хімічним навантаженням на ґрунт високу врожайність культури.

У зв'язку з цим наукові дослідження спрямовані на отримання нового технічного засобу для смугового способу хімічного обприскування просапних культур.

Сьогодні вирощування соняшнику є найбільш вигідним з точки зору отримання прибутку.

Тривалий час соняшник вирощували за традиційною технологією. З багатьох причин ця технологія стає економічно менш вигідною, а її процес

виращування в рослинництві важко контрольованим і керованим. На зміну традиційним технологіям приходять ресурсозберігаючі технології, такі як *potill*, *strip-till* [2]. Технологія *strip-till*, заснована на смуговому обробітку ґрунту, різко знижує механічні витрати і покращує якісні показники обробітку.

На якість і собівартість одержуваного врожаю великий вплив має операція хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб.

Під час проведення операції хімічного захисту рослин просапних культур дедалі більша увага приділяється таким факторам, як якість розпилювання розчину, розмір крапель, що формуються, ступінь покриття розчином листової пластини, а також створення сприятливого повітряно-водного режиму.

Довгі роки операція хімічного захисту рослин із застосуванням для будь-якої технології обробітку соняшнику проводиться штанговими обприскувачами, як однією з найбільш універсальних машин [3]. Недоліками обприскувачів є відсутність можливості регулювання за висотою штанги без стабілізації її переміщення, а також нерівномірне подавання розчину зі щільних розпилювачів, що призводить до неякісного обробітку сходів соняшнику та економічних втрат.

Велике значення під час нанесення розчину на рослину під час проведення операції захисту рослин, має правильний вибір форсунок. Вони входять до системи розпилювання штангових обприскувачів. Являють собою розпилювачі та відсічені пристрої (корпуси-подільники). Розпилювачі здійснюють дроблення робочої рідини на краплі необхідного розміру. У результаті постійного вдосконалення техніки створюються все більш високотехнологічні форсунки.

Неправильно обрана технологія може призводити до великого відсотка загибелі врожаю. Тому так важливо правильно розподіляти робочий розчин під час операції захисту рослин. Даючи змогу досягати високої якості обприскування, знищуючи хвороботворних шкідників і хвороб з одночасним зниженням залишкових проявів присутності хімічних препаратів усередині культури. Сьогодні суцільна обробка соняшнику не в повному обсязі відповідає всім запитам якості обприскування.

Нині застосовують пристрої для смугового обробітку просапних культур, що дають змогу стабілізувати оброблювану смугу. Систему розпилювання штангового обприскувача доукомплектовують аплікаторами.

Одна форсунка при цьому розташовується на штанзі в корпусі - дільнику, а дві інших - на аплікаторі - із двох сторін. Якість дії ЗЗР багато в чому залежатиме від його присутності біля культури. Але при нанесенні розчину в такий спосіб відбувається обважнення конструкції обприскувача і, як наслідок, збільшення вертикальних переміщень штанги. Факел розпилювання нижніх форсунок на аплікаторі *Dropleg<sup>UL</sup>*, як і раніше, буде зберігати горизонтальне розпилення, що призведе до стресу культури та надмірного забруднення ґрунту розчинами хімікатів.

Вивчення геометричних параметрів кута розпилювання в лабораторії починали з визначення поняття, що являє собою кут обприскування. Згідно з кутом обприскування - це кут, утворений зовнішніми межами струменів поруч розташованих обприскувачів. Під геометричними параметрами розуміли напрямки зовнішніх меж струменів конуса розпилювання.

Точку злиття визначали для форсунок із кутом розпилювання  $80^\circ$  і  $65^\circ$ , з кутом нахилу  $45^\circ$ ,  $55^\circ$  і  $65^\circ$ .

Після проведення всіх лабораторних досліджень було виготовлено дослідний макетний зразок деталі корпусу-подільника, що давав змогу перерозподіляти потоки робочого розчину під кутом  $45^\circ$ .

Макетні зразки встановили на штанговий обприскувач і провели дослід у польових умовах.

Оцінюючи роботу обприскувачів відповідно до агротехнічних вимог, виділяють низку суттєвих недоліків. Суцільне обприскування не завжди задовольняє вимогу оцінки якості обробітку верхніх, нижніх ярусів листової пластини, зворотного боку листка і стебла соняшнику.

Для аналізу біометричних параметрів соняшнику були проведені виміри росту стебла культури від ширини ярусів листя. При зростанні рослини від 0,1-0,6 м рослина починає розвиватися за конусним типом.

Після швидкого переналаштування серійного обприскувача під смуговий обробіток шляхом монтажу інноваційних корпусів-подільників і форсунок, що реалізують злиття потоків від бічних форсунок, які розташовані під кутом  $45^\circ$ , з утворенням нового єдиного вертикального потоку, на ґрунті та у міжряддя потрапляло 17-20 % бакового розчину, а отже, на культурні рослини – 80...83 %. Застосування вибіркового методу дало змогу визначити, що потрапляння крапель на зовнішній бік листя відбувалося по всій висоті соняшнику. Краплі робочого розчину спостерігалися на стеблі та на внутрішній поверхні листка.

З використанням нового способу покриття розчину на рослину було також розглянуто якісні показники обприскування. Аналізувалися густота і дисперсний склад осілих крапель.

Обробка розрахунків дає змогу зробити висновок, що краплі видно по всій поверхні листової пластини. Вони мають дрібнодисперсний, однорідний, рівномірний характер. Кількість крапель на листку знижується залежно від розташування листка на стеблі. Менша кількість крапель спостерігається на зворотному боці листка і на стеблі, але при цьому якість обробки покращується в загальному обсязі, бо розчин досягає своєї мети, не зустрічаючи перешкод на своєму шляху, як це відбувається за суцільного обробітку. При цьому за суцільного обприскування на графіку повністю відсутнє потрапляння крапель розчину на стебло і зворотний бік листка.

Висновки. Застосування методу оцінки якості обприскування при застосуванні способу смугової хімічної обробки рослин на прикладі соняшнику з використанням тестових смужок показало переваги в порівнянні з суцільним обприскуванням, а встановлення інноваційних корпусів-ділильників з

орієнтованими назустріч один одному потоками розпилювання сприяє створенню стабільнішого потоку та підвищення якості обробки посівів.

### **Список використаних джерел**

1. Яропуд В. М., Твердохліб І. В., Спірін А. В. *Машини та обладнання і їх використання в рослинництві: навч. посіб.* Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.
2. Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. *Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб.* Вінниця: 2019. 234 с.
3. Аналіз результатів досліджень машиновикористання в землеробстві різного технологічного рівня в Лісостеповій зоні. /Ю.І. Ковтун, С.О. Харченко, М.О. Циганенко, О.І. Анікеєв, та ін.// Вісник Харківського національного державного технічного університету ім. П. Василенка. Вип. 124. Т.1. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 5-13.

**УДК 631.331**

## **АНАЛІЗ Й УДОСКОНАЛЕННЯ ПОСІВНОЇ СЕКЦІЇ ЗЕРНОВОЇ СІВАЛКИ**

**М. І. ІКАЛЬЧИК**, кандидат технічних наук, доцент  
*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»*  
**П. Д. АТАМАНЮК, М. А. КОРНІЙЧУК**, викладачі,  
*Мирогощанський аграрний фаховий коледж*  
E-mail: [vtesluk@ukr.net](mailto:vtesluk@ukr.net)

Найбільш відповідальним технологічним процесом отримання рослинницької продукції є посів, нерозривно пов'язаний з підготовкою ґрунту до розміщення в ній насіння.

Освоюваний виробниками новий спосіб посіву від традиційних відрізняється тим, що в післязбиральний період полі не піддається впливу ніякими сільськогосподарськими машинами, а посів здійснюється по мульчувати пожнивними залишками фону, що захищає ґрунт від видування, сприяє снігозатриманню в зимовий період і збереженню вологи в період вегетації рослин. Альтернативою застосовуваних систем землеробства стає технологія «No-till», що в перекладі з англійської мови «Не орати» [1]. Ця технологія виключає й інші види механічної обробки, навіть по формуванню насінневого ложа. Особливості такої технології: не порушується структура ґрунту до моменту посіву; всі пожнивні залишки на поверхні поля. Ці особливості якраз і зберігають ґрунтову вологу і захищають ґрунт від ерозійних процесів [2]. При такій технології в момент сівби відбувається часткове руйнування поверхневого



шару, який здійснюється комбінованими сошниками на базі стрілчастих лап або дисків. Діскові сошники сівалок надають на ґрунт більш щадний вплив. Прямий посів здійснюють спеціальними сівалками з більш високими характеристиками міцності [3].

Істотним недоліком технології «No-till» є підвищена забур'яненість полів, що вимагає застосування гербіцидів протягом ряду років, а це знижує техніко-економічну ефективність її застосування, і негативно впливає на біологічну складову ґрунту.

Пропонується модернізована дискова посівна секція на базі дисків. Основним конструктивним елементом посівної секції на базі дисків є Г-подібна стійка, що включає вертикальну частину з встановленою на ній втулкою. За допомогою цієї втулки посівна секція кріпиться до рами сівалки і здійснюється поворот всієї конструкції при криволінійному русі посівного агрегату, що виключає її поломку. До горизонтальної частини Г-образної стійки спереду жорстко встановлена вісь, а на осі встановлений центральний дисковий ніж, призначення якого - розрізання рослинних залишків на поверхні ґрунту і коріння бур'янів, крім того дисковий ніж розпушує ґрунт, утворюючи борозну з поперечним перерізом у вигляді рівнобедреного трикутника з вершиною, зверненої вниз. За дисковим ножом встановлена стійка-тукопровода стрілчастої лапи, що йде на рівні нижче точки ножа. Стрілчаста лапа підрізає в зоні розміщення основного добрива і насіння кореневища бур'янів. По обидва боки горизонтальної частини Г-образної стійки зі зміщенням відносно один одного позаду стрілчастої лапи встановлені осі посівних дисків, причому посівні диски встановлені під кутом до напрямку руху, а кути їх атаки можуть змінюватися, довжина осей посівних дисків може змінюватися при збереженні суми довжин рівній ширині міжряддя. У «тіні» посівних дисків, за допомогою кронштейнів, прикріплених до горизонтальної частини Г-образної стійки, встановлені туко-насінепроводи, їх нижні кінці розташовані над борознами, виконаними посівними дисками.

До заднього кінця горизонтальної частини Г-образної стійки шарнірно прикріплений поводок важкий коток. Сила притиснення катка до ґрунту регулюється пружиною. На дисковий ніж діють значні сили з боку ґрунту, якщо мова йде про пряме посіви, тому з метою виключення поломки стійки в місці її згину встановлений упор, розвантажує горизонтальну частину.

Цінність прийнятої конструктивно-технологічної схеми посівної секції на базі дисків полягає в тому, що розуцільнює мінімальний обсяг ґрунту, немає обороту підрізаного шару ґрунту, ґрунт посівними дисками зміщується до середини борозни, а потім повертається під дією катка на колишнє місце, рядок основного добрива живить на протягом усього вегетаційного періоду два рядки насіння, до того ж він розміщений заданій відстані від насіння, здійснюється поєднання чотирьох технологічних операцій. Все це створює умови для підвищення ефективності виробництва зернових культур.

Прагнення поєднати ряд операцій при посіві привело до того, що конструктивно-технологічна схема посівної секції має багатофункціональне призначення, а саме: розрізає пожнивні залишки на поверхні ґрунту, підрізає смітну рослинність, висіває два рядки насіння зернових, вносить основну дозу мінеральних добрив між рядками насіння нижче їх рівня, ущільнює ґрунт над борозною, де розміщені насіння і добрива, забезпечує криволінійний рух агрегату без ризику поломки конструкції, виключає забивання простору між посівними дисками ґрунтом і рослинними залишками, то спростити її не представляється можливим. Здавалося б, оскільки в центральній частині борозни розміщені і добрива - основна доза, і два рядки насіння зліва і праворуч від добрив, розташовувати центральний диск варто було б на осі симетрії, що спричинило б застосування вилки по типу велосипедного колеса, а отже, матеріаломісткості конструкції секції. Постає питання про усунення в поздовжній вертикальній площині лівого і правого посівних дисків, адже їх можна було б розмістити навпроти один одного. Польові дослід з таким варіантом посівної секції виключили цю схему через забивання простору між посівними дисками ґрунтом і рослинними залишками. Прагнення виключити поломки секції при криволінійному русі посівного агрегату зумовили розробку вузла кріплення посівної секції до рами, що забезпечує поворот секції в горизонтальній площині щодо вертикальної осі, а це, в свою чергу, породило проблему стійкості руху посівної секції.

Необхідно обґрунтувати конструктивні параметри посівної секції, які забезпечили б стійкість ходу в горизонтальній і вертикальній площинах, так як вони показують вплив на глибину ходу центрального і посівних дисків.

При виготовленні дослідного зразка посівної секції центральний диск був розташований зліва горизонтальній частині Г-образної стійки, посівні диски закріплені за обидві її сторони і відстояли один від одного на відстань, більше їх радіусу і розташовані під гострими кутами до напрямку руху, з можливістю зміни кутів. Плоскоріжуча стрілчаста лапа, розташована на глибині посіву співвісна з центральним диском, оснащена стійкою-тукопроводом. Тому сили опору ґрунту, що діють на лапу, не впливатимуть на стійкість ходу посівної секції, з метою спрощення аналітичної моделі вони не будуть враховані.

Каток, прикріплений до заднього кінця Г-образної стійки, виконує дві функції: ущільнює ґрунт в борозні, де розміщено основне добриво і два рядки насіння і чинить опір відведенню посівної секції в ліву чи праву сторону, якщо виявиться достатньою сила притиснення його до поверхні ґрунту, а шарнір, що з'єднує поводок катка і задній кінець стійки, буде виконаний за принципом «втулка-палець», але не у вигляді хрестовини кардана з двома ступенями свободи.

**Висновки.** На підставі аналізу комбінованого посіву зернових культур з одночасним внесенням добрива розроблена конструктивно-технологічна схема посівної секції зерно-тукової сівалки на базі дисків, що забезпечує виконання чотирьох технологічних операцій за один прохід агрегату: розпушування

ґрунту в зоні посіву, внесення основного добрива нижче рівня розміщення насіння, посів двох рядків стартовим добривом, ущільнення ґрунту над насінням.

### **Список використаних джерел**

1. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.
2. Кобець А. С. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин: практикум / А. С. Кобець, О. М. Кобець, А. М. Пугач. – Дніпропетровськ : Свідлер А. Л., 2011. – 163 с.
3. Методи і принципи проектування сільськогосподарських машин і агрегатів: навч. посіб. / К. І. Шмат, П. В. Сисолін, О. Є. Самарін [та ін.]; М-во освіти і науки України, Херсон. держ. техн. ун-т. – Херсон: Олді-плюс, 2004. – 176 с.

**УДК 631.35.001.66**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ОБПРИСКУВАЧ ОП-2000 З КОМБІНОВАНИМИ РОЗПИЛЮЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ**

**Д. Г.ВОЙТЮК** професор, к.т.н.,  
**Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.,  
*НУБІП України*

В конструкції експериментального обприскувача, порівняно з базовим вітчизняним (ОП-2000-2) (Рис 1), з'явилася можливість оперативно змінювати норму внесення робочої рідини залежно від характеристик рослинного покриття. Це здійснюється за допомогою принципово нових пневматичних відсічних пристроїв VarioSelect фірми Lecher (Німеччина) [1], які укомплектовані двома різними типорозмірами розпилювачів(щілинним ST 110-02 та щілинним ST 110-03), та електронно-оптичним сенсором 4 (Рис 1), який вимірює індекс вегетації біомаси . Кожний відсічний пристрій за допомогою пневмопроводів з'єднаний з електромагнітним пневморозподільником 2, який в свою чергу з'єднується з пневматичною системою трактора та бортовим контролером. Сенсор також з'єднаний з бортовим контролером і встановлений перед баком обприскувача. Швидкість вітру контролюється за допомогою цифрових анемометрів 10, які з'єднанні з бортовим контролером і встановленні на штанзі обприскувача.

Обприскувач працює наступним чином:



Робоча рідина засмоктується мембранним насосом 7 з бака 1 через фільтр грубої очистки 3 і під тиском подається до пульта керування 8, де очищується самоочисним фільтром. Потім з пульта керування 8 поступає до колекторів штанги 11. Робоча рідина подається з пульта керування на кожну половину штанги окремо. Для цього на пульті керування передбачено три відводи, кожен з яких закривається краном. Надлишок робочої рідини перепускається назад у бак.

Бортовий контролер C8051F350 9 отримавши від сенсора 4 дані про характеристику рослинного покриву дає сигнал на пульт керування, який в свою чергу регулює тиск в колекторі обприскувача, тим самим змінюючи норму внесення робочої рідини. Тиск знаходиться в межах від 2 до 5 атм. Швидкість агрегату вимірюється за допомогою індуктивного детектора встановленого на рамі обприскувача.

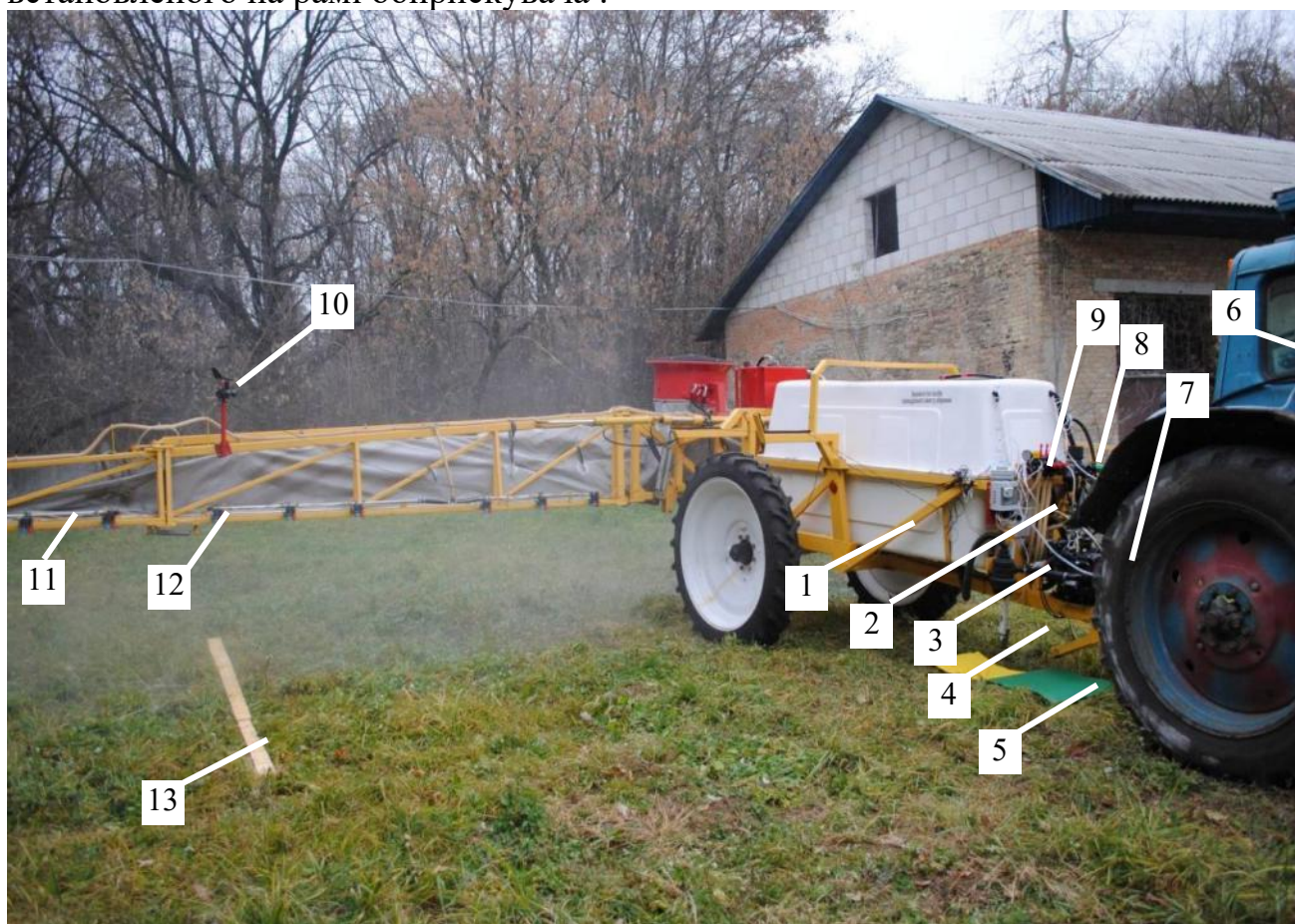


Рисунок 1 - Загальний вигляд експериментального обприскувача:

1 - бак; 2 - електромагнітний пневморозподільник 638М-101-А62; 3 - фільтр грубої очистки; 4 - електронно-оптичний сенсор; 5 – імітаційна поверхня різного кольору; 6 – трактор; 7 - мембранний насос; 8 - пульт керування; 9 - бортовий контролер C8051F350; 10 – датчик швидкості вітру DAVIS 6410; 11 - колектор; 12 – пневматичний відсічний пристрій Lecher VarioSelect; 13 – поверхня з картками водо чутливого паперу.

### Список використаних джерел

1. Обладнання для захисту рослин. Наконечники обприскувачів розпилювальні. Кольорове кодування для ідентифікації (ISO 10625:2005 (E), ЮТ) : ДСТУ ISO 10625:2006. - [Чинний від 2008-01-01 ]. - К.: Держспоживстандарт України, 2009. -4с.- (Національний стандарт України).

УДК 631.36.001

### ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПЛЮЩИЛКИ САМОХІДНОЇ КОСАРКИ Є-303

**В. Ф. КУЗЬМЕНКО**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН,*

**В. Б. ОНИЩЕНКО**, кандидат технічних наук, доцент,

**Б. В. ОНИЩЕНКО**, кандидат технічних наук, доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: vfkuzmenko@ukr.net*

Завдяки надійності, простоті в обслуговуванні та ремонтпридатності самохідної косарки Є-303, високій продуктивності, технологічній простоті в роботі остання до сьогодні використовується в господарствах, що утримують велику рогату худобу [2].

Однією з переваг цієї косарки є використання плющильних вальців для обробки скошеної трави. На відміну від суцільних гумованих вальців з профільованими виступами та відповідними їм западинами на іншому вальцю чи суцільних глибоко рифлених вальцях металевих вальцях вальці косарки відзначаються низькою металомісткістю, а їх ребра є несучою конструкцією вальців.

Використання цих вальців дозволяє формувати спущені валки, в які легко проникає повітря, що сприяє прискореному сушінню трави. Іншим чинником, що прискорює сушіння є механічна взаємодія трави з планками вальців, що приводить до руйнування покривного шару на стеблах. Для цього планки вальців рекомендується встановлювати зі зміщенням на половину кроку їх розташування. Стебла, що рухаються потоком, примусово перегинаються, взаємодіючи один з іншим.

Були перевірено вплив на інтенсивність сушіння трави у валку розташування планок плющильних вальців та зусилля їх стискання. Дослідження проводилися на конюшині червоній. В дослідженнях використовувалися самохідна косарка (енергозасіб) Є-303 та жатка Є-025 конструкційною шириною захвату 5,1 м. Технологічна ширина захвату складала 4,81 м. Конюшина вологістю 76,2-78,9% складала 70-75% за масою від



ботанічного складу травостою. Урожайність травостою в середньому була 34,8 т/га, на залікових ділянках коливалася в межах 25,5-42,8 т/га.

Зрозуміло, що за розташування на 1,0 м<sup>2</sup> більшої кількості трав'яної маси (6,89 кг/м<sup>2</sup> та 8,83 кг/м<sup>2</sup>) спостерігалось різниця в 1,2-1,7% відсотків вологості. Аналогічно, збільшення зусилля стискання планок вальців з 1,50 Н/см до 1,85 Н/см за розташування протилежних планок зі зміщенням зменшення вологості в другому випадку було значнішим. Однак найбільш прискорюється сушіння за встановлення планок одна проти іншої. За стискання планок з зусиллям 1,50 Н/см різниця в вологості на другу добу сушіння сягала 10% [1].

**Висновки.** Таким чином, визначено в польових умовах вплив окремих режимів плющення конюшини на зменшення відносної вологості у плющеній сировині. Подальшим напрямком проведення досліджень передбачається уточнення отриманих результатів та визначення впливу на прискорення сушіння частоти обертання вальців, кроку між планками, впливу профілю робочої поверхні планок, тощо.

#### **Список використаних джерел**

1. Кузьменко В. Ф. Вдосконалення жатки самохідної косарки. МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ЕКАР – ЕНЕРГІЯ, КЛІМАТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, РОБОТИЗАЦІЯ» 25 листопада 2025 р. Глеваха – 2025, с. 90-93.
2. Кравчук В., М. Луценко, М. Мечта. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів. К: Фенікс, 2008 - 104 с.

**УДК 631.333**

### **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ РОЗПОДІЛЬНО-ДОЗУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.,  
*НУБІП України*  
**О. В. АДАМЧУК** к.т.н.,  
*ІМА АПВ НААН*

Врожайність зернових культур, що вирощуються по інтенсивній технології, залежить від якості розподілу мінеральних добрив по поверхні ґрунту як при основному внесенні, так і при підживленні посівів.

Машина для внесення мінеральних добрив з відцентровими робочими органами не в повній мірі забезпечують необхідної рівномірності внесення ( $\pm 25\%$ ), в умовах виробництва вона досягає  $\pm 40-50\%$ . Тому в США,

Німеччині, Франції і інших розвинутих європейських країнах, для внесення твердих мінеральних добрив, використовують машини, обладнані замість відцентрових, штанговими розподільно-розсівальними робочими органами з конструктивною шириною, що рівна робочій ширині захвату машини (8-18 м) (2).

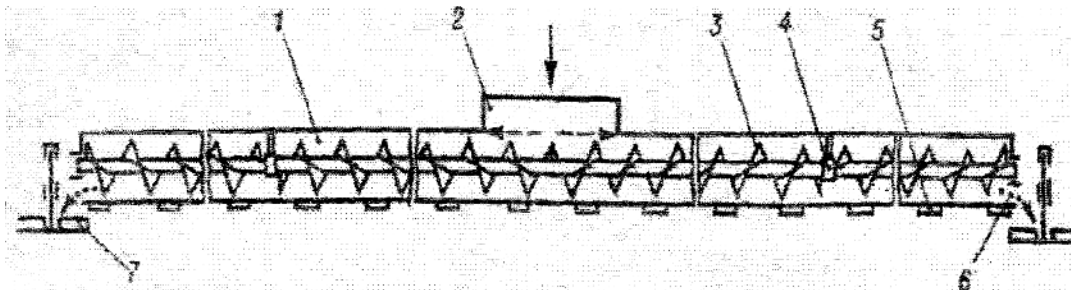


Рис. 1. Схема шнекової приставки:

1 - жолоб; 2 - завантажувальна горловина; 3 - подавальний гвинт, 4 - проміжна підвісна опора; 5 - висівний апарат; 6 - випускне вікно; 7 - додатковий розсіювальний диск.

Подача туків: ←

В даний час ведуться роботи з створення машин такого типу і в нашій країні. Досвід використання експериментальних партій перших таких машин показав, що вони задовільно працювали тільки на гранульованих добривах високої кондиції, тому не знайшли широкого застосування у господарствах. Значно простіше вирішується ця задача не створенням складної спеціалізованої техніки, а оснащенням наявних в сільськогосподарському виробництві машин шнековими приставками (1). Технологічна схема такої приставки приведена на рис. 1. У процесі її роботи добрива надходять з бункера через завантажувальну горловину 2 на транспортуючі гвинти 3, що розподіляють туки по ширині захвату. Основна частина добрив, що транспортується по жолобу 1, висівається з нього гравітаційними апаратами 5 відповідно до норми висіву. Добрива, що не встигли висіятись на протязі руху по жолобу, (включають грудки, залишки мішкотари і інші сторонні предмети) подаються через вікна 6, де висіваються додатковим відцентровим дисковим робочим органом 7.

В шнековій приставці на якість висіву добрив істотно впливають умови подачі добрив до апаратів. Гвинт переміщує добрива над висівними апаратами порціями, розмір яких зменшується в міру наближення добрив до периферійних кінців приставки. В процесі одного оберту гвинта периферійні апарати будуть оголенні більш тривалий час, ніж центральні. Тобто має місце недостатність живильних периферійних висівних апаратів, яка призводить до зниження їх подачі. Усунути цей недолік можна шляхом створення над ними запасу добрив за рахунок збільшення пасивної зони (зазору) між зовнішньою кромкою гвинта і апаратами. Причому найбільш ефективним це рішення буде при виконанні вирізів в гвинтовій поверхні над кожним висівним вікном.

Проте, при такій конструкції гвинта насипна щільність прошарків добрив (запасу), сформована над різними висівними апаратами, після проходу гвинтової поверхні з вирізом нижнього положення буде неоднакова із-за розходження умов їх формування. Це означає, що при формуванні прошарку, добрива в зоні висівних апаратів потрібно розпушувати. Конструктивно забезпечити такі вимоги найбільш легко шляхом встановлення по довжині вирізів в гвинтовій поверхні розпушувальних стрічок, що утворюють разом з ними стабілізуючі вікна (рис. 2).

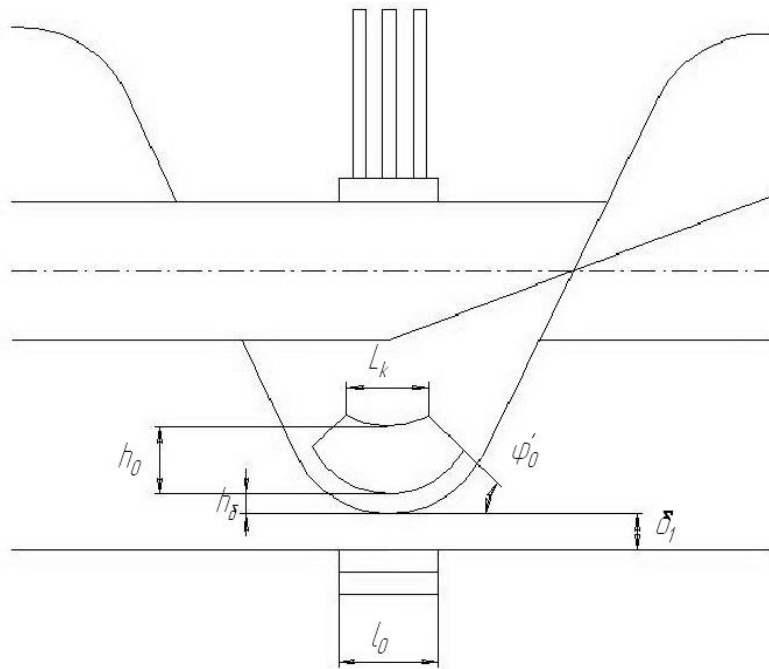


Рис. 2. Схема частини приставки в зоні висівного апарату

В шнекових приставках подача добрив від гвинта до висівних апаратів здійснюється гравітаційним способом через живильні вікна. Однакових масовий витрат живлення для всіх висівних апаратів можливо досягти за умови, що тиск добрив в жолобі, на вказані апарати буде постійним. Досягти цього ( $\sigma_b = \text{const}$ ) можна забезпечивши більшу висоту прошарку добрив над апаратами, ніж критична, протягом всього часу живлення. Тобто висоту прошарку добрив, наступне збільшення якої не буде викликати збільшення вертикального тиску  $\sigma_b$ .

### Висновки

1. Устаткування серійних машин для поверхневого внесення добрив шнековими приставками дозволяє знизити нерівномірність внесення однокомпонентних видів добрив і їх сумішок. Виконання в гвинтовій поверхні стабілізуючих вікон виключає пульсуючий характер висіву добрив і живильну недостатність периферійних висівних органів.
2. Шнекові розсівальні робочі органи машин для внесення туків менш

вимогливі до якості добрив, порівняно з іншими видами робочих органів, що забезпечується руйнацією грудок туків шнеком. Крім того, вони добре вписуються в технологічну схему роботи відцентрового розкидача, і є доцільним шнекову висівно-розподільну систему виготовляти, як змінний агрегат (приставку) до відцентрового розкидача.

#### **Список використаних джерел**

1. Адамчук В.В. Підсумки створення технологічних комплексів для застосування твердих мінеральних добрив і хіммеліорантів //Техніка АПК.- 2000.-№3.- С.10-12.

2. Адамчук В.В. Обґрунтування моделі внесення мінеральних добрив // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха.- ННЦ „ІМЕСГ” , -2002. Вип. 86.- с. 90-99.

**УДК 631.333**

### **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н., **Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.

*НУБІП України*

**О. В. АДАМЧУК** к.т.н., *ІМА АПВ НААН України*

Проаналізувавши відомі конструкції машин для внесення твердих мінеральних добрив, можна констатувати, що вони є надійні в експлуатації та добре працюють навіть в складних умовах при підвищеній вологості та гігроскопічності.

Недоліками даних робочих органів є нерівномірності внесення добрив та можливість якісного розсіву тільки малими дозами внесення добрив.

Конструкції дисково-вентиляторних розсіювальних робочих органів (РРО) розкидального типу мають властивості, як відцентрових, так і пневматичних РРО.

В дисково-вентиляторних типах РРО розкидання добрив проводиться відцентровим диском, що обертається, а вентилятор використовується для підсилення руху добрива потоком повітря.

Ми пропонуємо нову конструкцію дисково-вентиляторних пневмовідцентрових РРО, рис. 1.

Даний робочий орган має диск, який кріпиться до вала редуктора. Зверху на диску встановлено лопатки.

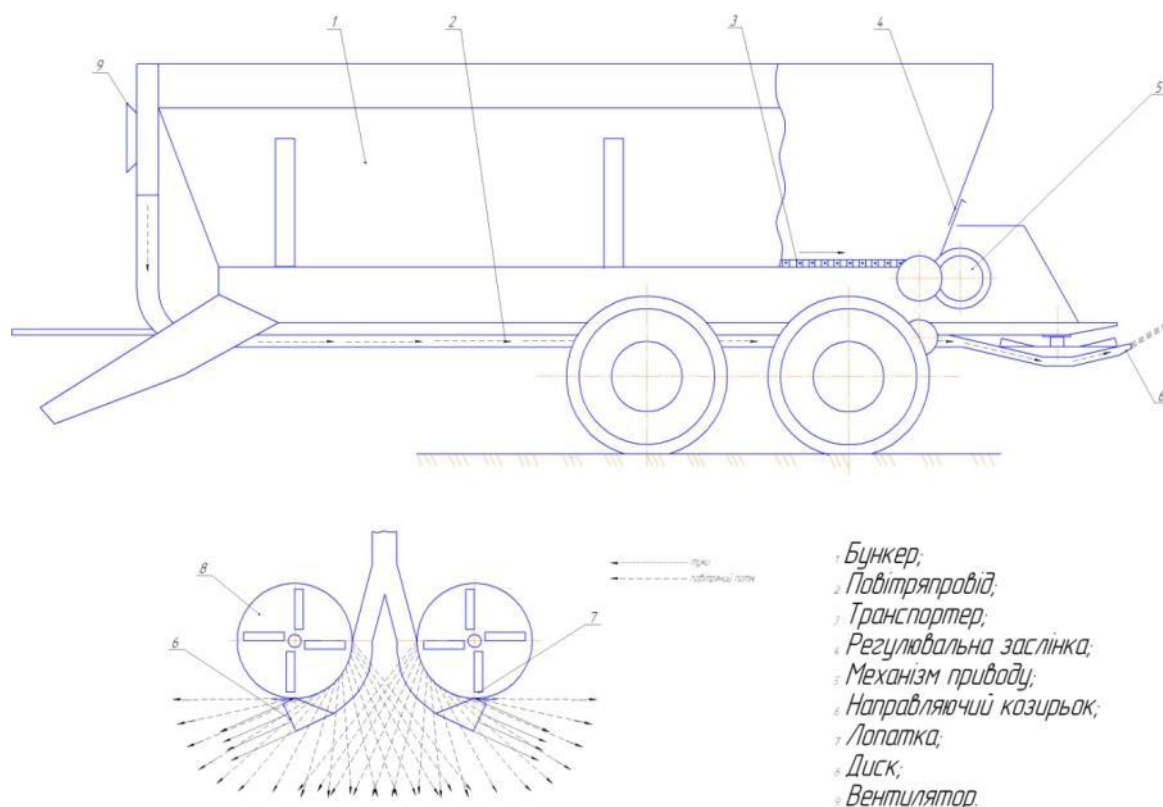


Рисунок 2. – Схема пневмовідцентрових розподільчих робочих органів

Пневмопровід, який має напрямний козирок, направляють до нижньої поверхні відцентрового диска.

Вентилятор, який розміщений попереду бункера призначений для створення та регулювання сили повітряного потоку в пневмопроводі.

Технологічний процес полягає в наступному, добрива, які є на диску, переміщуються лопатками до зовнішньої кромки диска, таким чином готуючись до сходу.

Завдяки кінетичній енергії, гранули сходять з диска та потрапляють в зону периферійної ділянки ширини захвату.

Рух частинок добрив, які вже злетіли в атмосферу підсилюються потоком повітря. Даний струмінь повітря допомагає гранулам добрив летіти від 5 до 6 м від осі РРО. Подальший рух частини добрив здійснюють завдяки набутій кінетичній енергії.

Частини добрив стикаються з опором повітря, який пригальмовує їх рух, в результаті відбувається процес їх висіву на поверхню поля.

**Висновки.** Збільшення ширини захвату машини та покращення якості розподілу добрив по поверхні поля є результат диференційованої подачі струменя повітря, в результаті якої добрива потрапляють на периферійні зони робочої ширини захвату. Гранули, які вилітають з диска за межами козирка, потрапляють в центр ширини захвату робочого органу завдяки попереднього розгону розсіювальними лопатками.



### Список використаних джерел

1. Адамчук В.В. Підсумки створення технологічних комплексів для застосування твердих мінеральних добрив і хіммеліорантів // Техніка АПК.- 2000.-№3.- С.10-12.
2. Адамчук В.В. Обґрунтування моделі внесення мінеральних добрив // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха.- ННЦ „ІМЕСГ” , -2002. Вип. 86.- с. 90-99.

УДК 631.365.4

## УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРИХЛЮВАЧА-ВИРІВНЮВАЧА ВОРОХУ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

**С. М. ГЕРУК** доцент, к.т.н., **С.. В. МІНЕНКО** доцент, к.т.н., **ЖАТК**  
**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н., **Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.,  
**МЕЛЬНИК** студент магістратури ,  
**НУБІП України**

Якість роботи розрихлювача-вирівнювача залежить від багатьох факторів, що характеризують умови його використання (тип ґрунту, його вологість, засміченість поля камінням, бур'янами і т.д.), Також слід відмітити значний вплив конструктивних (діаметр барабана, кут нахилу півдисків до осі барабана, висота півдисків) та кінематичних (частота обертання розрихлювача-вирівнювача) параметрів сепаруючого пристрою, що впливають на процес відділення бульб картоплі від наявних домішок. Істотно також впливають на процес сепарації технологічні параметри картоплезбирального агрегату (швидкість руху агрегату по полю, подача картопляного вороху).

Для визначення показників якості роботи сепаруючого пристрою проводяться дослідження при таких змінних факторах, що визначаються методом апріорного ранжування: кут нахилу півдисків до осі барабана  $\beta$ , частота обертання розрихлювача-вирівнювача  $n_{роз}$  та швидкість руху агрегату по полю  $V_m$ .

При цьому якість роботи комбінованого сепаратора досліджується за такими показниками: коефіцієнт сепарації  $\eta_c$  та пошкодженість бульб картоплі  $P_6$ . Енергетична оцінка проводилась через потужність, що витрачається на привод робочих органів  $N_{пр}$ .

Лабораторно-польові дослідження проводяться на макетному зразку картоплекопача КСТ-1,4А з встановленим на ньому комбінованим сепаратором картопляного вороху (рис.1), який складається з наступних основних вузлів: копіювального колеса 1, за допомогою якого регулюється глибина підкопування гребенів, залежно від глибини залягання бульб картоплі,

активних лемешів, що підкопують грядку та коливаються з амплітудою 14 мм та частотою  $9,4 \text{ с}^{-1}$ , розрихлювача-вирівнювача 3, що разом з швидкісним елеватором 4 складають комбінований сепаратор, основного елеватора 5, що рухається зі швидкістю 2,26 м/с, каскадного елеватора 7, ходових коліс 6 та відбивачів 8, що вкладають бульби у рядок на поверхні поля.

Картоплезбиральна машина працює наступним чином. Під час переміщення машини по полю лемеші, що встановлені на відповідну глибину копання, підрізають два суміжні рядки і спрямовують скибу на швидкісний елеватор.

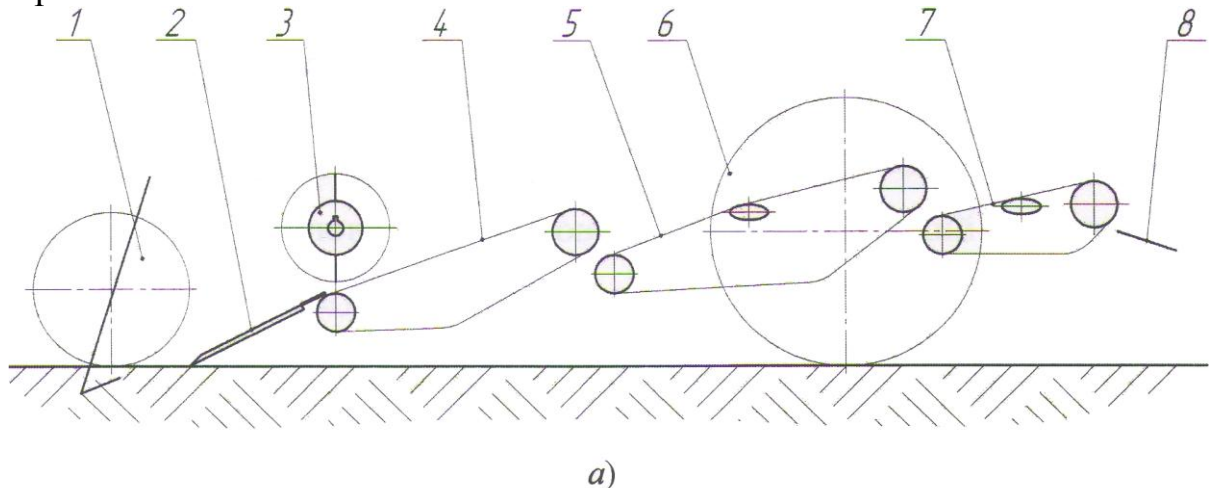


Рис. 1. Схема лабораторно-польової установки для випробування комбінованого сепаратора:

1 — копіювальне колесо; 2 - підкопуючі лемеші, 3 - розрихлювач-вирівнювач; 4 - швидкісний елеватор; 5 — основний елеватор; 6 - опорне колесо; 7 каскадний елеватор; 8 - відбивачі

За рахунок розрихлювача-вирівнювача скиба руйнується та вирівнюється за шириною робочої поверхні швидкісного елеватора і оскільки його швидкість більша ніж поступальна швидкість агрегату, не створюється нагромадження вороху в приймальній частині машини. На швидкісному елеваторі відбувається інтенсивне відділення домішок від бульб картоплі. Із швидкісного елеватора маса надходить до основного елеватора, де бульби відокремлюються від ґрунту, за рахунок струшування полотна елеватора, еліптичними струшувачами. В подальшому маса потрапляє на каскадний елеватор. Останній спрямовує їх на поверхню поля, а відбивачі звужують валок до ширини 60 - 90 см.

Комбінований сепаруючий пристрій [1,2] складається з сепаруючого елеватора та розрихлювача-вирівнювача (рис.2), який активно діє на бульбоносний шар, руйнуючи тверді грудкові утворення та розрівнюючи його за шириною сепаруючого елеватора за допомогою розрихлюючих елементів 1, які жорстко встановлені на барабані 4. Кожен розрихлюючий елемент

створений з двох півдисків 2, 3, що направляють бульбоносний шар до вентральної частини сепаруючого елеватора.

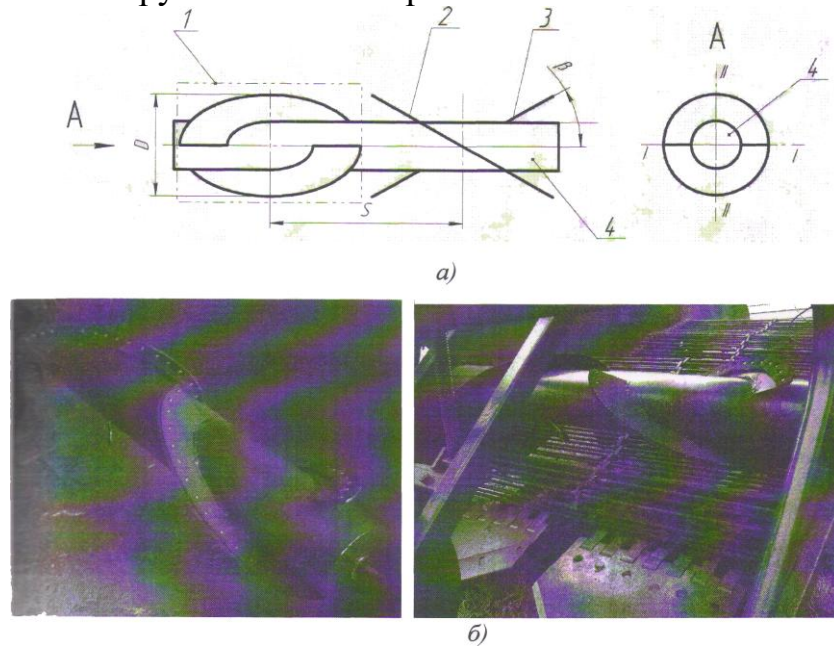


Рис. 2. Розрихлювач-вирівнювач комбінованого сепаратора:  
 а - схема розрихлювача-вирівнювача; б- загальний вид;  
 1 -розрихлюючий елемент; 2,3 - півдиски; 4 - барабан

Розрихлюючі елементи 1 виконані у вигляді двох півдисків лівого 2 та правого 3, причому кожний з них встановлений на валу під кутом  $\beta$ . Великі осі цих півдисків знаходяться в одній площині, а їх проекція на горизонтальну площину в положенні, коли площина, через яку проходять великі осі півдисків, перпендикулярна горизонтальній площині, вписується в еліпс.

Розрихлюючі елементи встановлені на відстані ширини міжрядь рядків картоплі таким чином, що площини, в яких знаходяться великі осі півдисків в кожному розрихлюючому елементі, перпендикулярні одна одній.

### Висновки

Використання розрихлювача-вирівнювача з елементами, виконаних у вигляді двох півдисків лівого та правого, кожний з них встановлений під кутом на валу дає можливість швидкій руйнації скиби ґрунту та вирівнювання її за шириною робочої поверхні швидкісного елеватора. А оскільки його швидкість більша ніж поступальна швидкість агрегату, не створюється нагромадження вороху в приймальній частині машини. Таким чином на швидкісному елеваторі відбувається більш інтенсивне відділення домішок від бульб картоплі.

### Список використаних джерел

1. П.Герук С.М., Міненко С.В. Активізація процесу сепарації картопляного вороху при використанні пруткових елеваторів // Вісник сумського національного аграрного університету (Серія «Механізація та

автоматизація виробничих процесів»): 36. наук, праць. - Суми, 2008. - Випуск 1(17).-с. 145-150.

2. Герук С.М., Міненко С.В. Методика планування експерименту з визначення оптимальних параметрів розрихлювача-вирівнювача картоплезбиральної машини // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: 36. наук, праць., випуск 38. - Кіровоград, 2008. - с. 234-237.

**УДК 631.36.001.66**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТАЦІЙНОГО РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

**В. Ф. КУЗЬМЕНКО** с.н.с., к.т.н., *ІМА АПВ України*

**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н., **Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.  
НУБІП УКРАЇНИ

Експериментальне визначення енерговитрат та транспортування трав'яної маси диском ротаційної косарки проводилося в лабораторних умовах, шляхом вимірювання потужності, затраченої електродвигуном на привод диска при подачі на нього рослинної маси. Таким чином моделювався робочий процес ротаційного диска косарки.

На рис. 1. представлено схему експериментальної установки для визначення енергозатрат на транспортування скошеної рослинної маси ротаційним диском косарки. Основою її є вал 1, який встановлено на підшипниках в опорі 2, закріпленій на основі. На валу в нижній частині змонтовано диск 3. З однієї із сторін він охоплений щитком 4, призначеним для утримання маси, яка подається конвеєром 5. Частоту обертання диска 3 можливо змінювати завдяки приводу, який включає клинопасові передачі 6, кутовий редуктор 7, варіатор 8, ланцюгову передачу 9, яка з'єднує їх та електродвигун 10. Завдяки варіатору 8 змінювали частоту обертання диска, а використання конвеєра 5 забезпечувало змінну подачу маси на диск 3. Подача рослинної маси на диск 3 змінювалася в межах 3,3-4,2 кг/с, частота обертання диска 180-450 об/хв., діаметр диска становив 650 мм. Потужність на привод диска вимірювалася з використанням самопишучого кіловатметра НЗ95, підключеного до електричної мережі через трансформатори струму. Отримані осцилограми розшифровувалися з урахуванням коефіцієнта трансформації трансформаторів струму.

Досліди проводилися в трьохкратній повторності. Для обробки експериментальних даних приймалися середні значення. Результати, отримані в результаті експериментальних досліджень після обробки показали, що вплив

величини подачі рослинної маси на споживану потужність визначався при частоті обертання 375 об/хв. Збільшення подачі рослинної маси на диск призводить до збільшення потужності, необхідної на привод диска, причому збільшення потужності відбувається пропорційно збільшенню подачі. Так, збільшення подачі із 3,3 кг/с до 3,8 кг/с, тобто на 9,1 % призводить до збільшення споживаної потужності на 0,28 кВт, а збільшення подачі із 3,8 кг/с до 4,2 кг/с, тобто на 10,7 %, збільшує споживану потужність на 0,21 кВт.

Деяко інша картина зміни необхідної потужності при варіюванні частоти обертання. Зміна частоти обертання із 180 об/хв. до 450 об/хв. призводить до збільшення споживаної потужності з 0,11 кВт до 0,49 кВт.

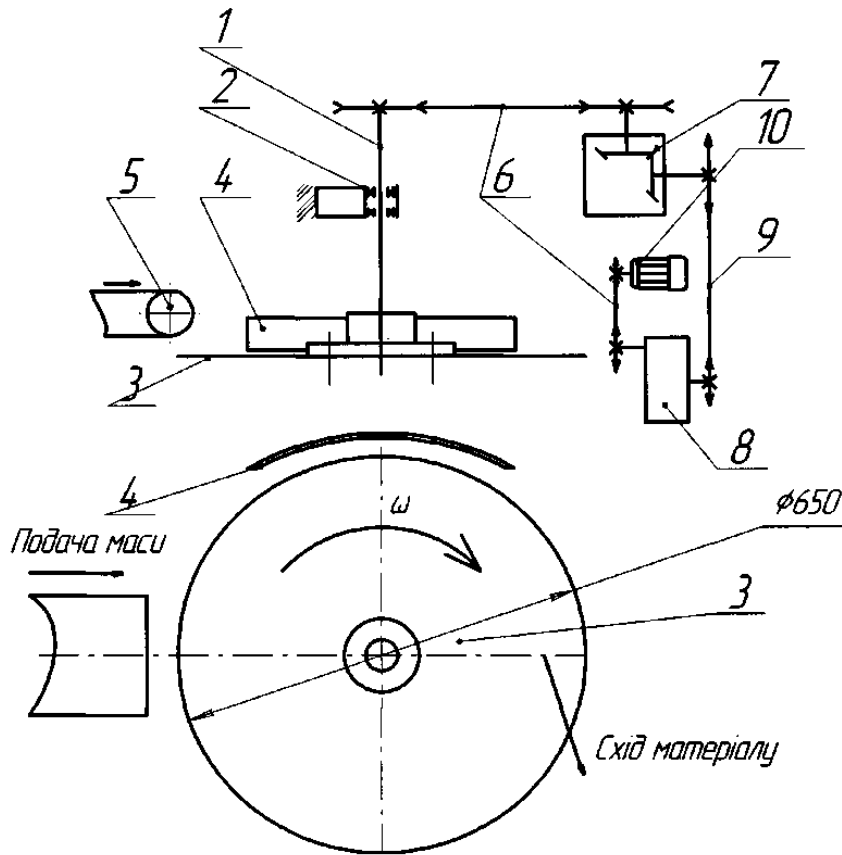


Рисунок 1. Схема установки для визначення енергозатрат на транспортування маси диском роторної косарки

1-вал; 2-корпус; 3-диск; 4-щиток; 5-конвеєр подаючий; 6-клинопасова передача; 7-редуктор; 8-варіатор; 9-ланцюгова передача; 10-електродвигун.

### Висновки

Слід відзначити, що при низькій частоті обертання ротаційного диска виконання технологічного процесу ненадійне, тобто частина маси не встигає зійти із диска і рухається по колу повторно.

Стосовно методики вимірювання потужності слід вказати, що при малих подачах маси відхилення на осцилограмі від величини холостого ходу дуже



незначне, тому доцільно виконувати заміри шляхом тензометрування крутного моменту на валу, який несе диск.

Таким чином потужність на транспортування маси найбільше значення приймає при максимальній подачі на максимальних обертах і складає близько, 6 кВт на 630 мм захвату, тобто 0,952 кВт на 1 м захвата.

#### **Список використаних джерел**

1. “Сільськогосподарські машини”. Основи теорії та розрахунку.. Київ “Вища школа” 2005.
2. “Кормовиробництво”: Навчальне видання.-2-евид., доп, і перероб.- К.: Вища освіта, 2005.-448 с.: іл.
3. “Косарка навісна роторна”. ВАТ”Дрогобицький завод автомобільних кранів”.-1997.

**УДК 338.43:004.9**

### **ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН**

**О. М. ВЕЧЕРА**, ст. викладач

**Б. В. ТЕСЛЮК**, студент;

**НУБіП України**

**В. В. КУЯНОВ**, к.т.н., с.н.с.

**ІПР НААН**

*E-mail:* [vecheraoleg@nubip.edu.ua](mailto:vecheraoleg@nubip.edu.ua), bogdan\_tesluk@gmail.com,  
vladimir.kuianov2@gmail.com

В умовах глобалізації та посилення конкуренції на світових продовольчих ринках, ефективність функціонування агропромислового комплексу (АПК) України безпосередньо залежить від рівня його технологічного оновлення. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується переходом до четвертої промислової революції (Industry 4.0), де інформаційні технології стають не просто допоміжним інструментом, а стратегічним ресурсом. Для підприємств АПК впровадження ІТ є ключовим фактором зниження собівартості продукції, оптимізації використання ресурсів та підвищення врожайності [1]. Сучасна аграрна наука постала перед викликом: необхідністю інтенсифікації виробництва продовольства при одночасному зниженні антропогенного впливу на біосферу. Відомо, що традиційні методи суцільного обприскування посівів призводять до того, що значна частина пестицидів (до **40%**) не досягає цільових об'єктів, акумулюючись у ґрунті та ґрунтових водах, на що системи точного землеробства пропонують перехід від концепції

«керування полем» до концепції «керування кожною рослиною або мікрозоною».

Питанням цифровізації аграрного сектору присвячено праці багатьох провідних вчених. Проте стрімкий розвиток технологій потребує постійного переосмислення існуючих підходів. Актуальним залишається пошук балансу між капітальними витратами на ІТ-рішення та реальним економічним ефектом у специфічних умовах вітчизняного агровиробництва. Трансформація традиційного сільського господарства в цифрове (Agriculture 4.0) базується на комплексному використанні низки технологічних рішень. Найбільш вагомими з них це:

**Системи точного землеробства (Precision Farming).** Це фундаментальний напрям, що базується на використанні даних GPS/GNSS для точного позиціонування техніки. Завдяки цьому досягається:

- виключення перекриттів та пропусків під час посіву, внесення добрив, обприскування. Використання RTK-сигналів (корекція в реальному часі) забезпечує точність руху агрегата до **2–3 см**. Це дозволяє повністю виключити перекриття (повторне обприскування однієї ділянки) та «огріхи» (необроблені зони). Лише цей етап дозволяє скоротити витрати препарату на **5–15%** залежно від конфігурації поля;
- диференційоване внесення ресурсів (VRA — Variable Rate Application) залежно від потреб конкретної ділянки поля. Замість єдиної норми внесення для всього поля, система використовує карти-завдання, побудовані на основі індексів вегетації (наприклад, NDVI). Формула розрахунку норми враховує фактичний стан біомаси:

$$Q = \int f(S, V, D) dx,$$

де:  $Q$  — обсяг внесення,  $S$  — швидкість руху,  $V$  — індекс вегетації,  $D$  — ступінь забур'яненості;

- системи точкового обприскування (Spot Spraying): технології типу *See & Spray* використовують камери та нейронні мережі для ідентифікації бур'янів у реальному часі. Форсунки відкриваються лише тоді, коли об'єкт потрапляє в зону дії сенсора. Це дозволяє зменшити використання гербіцидів на 60–80% на ранніх стадіях вегетації а також зниження витрат палива 15–25%;
- **точне землеробство 2.0:** у розвинених країнах понад 70% великих ферм використовують ІІІ для моніторингу посівів та автоматизації техніки;
- **автономні машини:** трактори та комбайни, керовані через GPS без водіїв, стають стандартом. Технологія **EcoRobotix ARA** дозволяє вибірково обприскувати бур'яни, економлячи до **96%** гербіцидів;
- **прогнозна аналітика:** ІІІ аналізує генетичні бази даних та погодні умови для виведення стійких до хвороб сортів рослин і точного прогнозування врожайності.

Використання прецизійних систем обробки полів пестицидами прямо впливає на зниження собівартості продукції та оздоровлення агроландшафту:

| <b>Технологія</b>               | <b>Середній відсоток економії ЗЗР</b> | <b>Основний фактор впливу</b>          |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| <i>Посекційне відключення</i>   | <i>10–12%</i>                         | <i>Виключення перекриттів на краях</i> |
| <i>Диференційоване внесення</i> | <i>20–35%</i>                         | <i>Адаптація до варіативності поля</i> |
| <i>Сенсорне розпізнавання</i>   | <i>60–80%</i>                         | <i>Локальне знищення бур'янів</i>      |

**Екологічний аспект:** Зменшення обсягів пестицидів знижує ризик резистентності шкідливих організмів та запобігає деградації корисної мікрофлори ґрунту. Крім того, зменшується кількість води, необхідної для приготування робочих розчинів, що є критичним в умовах кліматичних змін.

**Впровадження інтернет речей (IoT) та сенсорні мережі.** Використання датчиків вологості ґрунту, температури, стану посівів та метеостанцій дозволяє отримувати інформацію в режимі реального часу для оптимізації часу обробки полів.

#### **Безпілотні літальні апарати (БПЛА):**

- дрони стали невід'ємною частиною сучасного АПК. Вони виконують такі функції;
- мультиспектральний аналіз стану рослин (індекс NDVI);
- виявлення осередків шкідників та хвороб;
- створення 3D-карт рельєфу;
- точкове або повне обприскування посівів, що особливо важливо в умовах складного ландшафту.

#### **Великі дані (Big Data) та Штучний інтелект (ШІ):**

- сучасне підприємство генерує величезні масиви даних. Програмні комплекси на основі ШІ дозволяють аналізувати статистичні дані про врожайність, погодні умови та стан ринків для прогнозування оптимальних термінів технології вирощування та побудови ефективних маркетингових стратегій та планів [2-3].

**Висновки та перспективи.** Незважаючи на очевидні переваги, широке впровадження систем точного обприскування ще обмежується високою вартістю обладнання та необхідністю спеціальної підготовки персоналу. Проте, згідно з розрахунками, термін окупності таких систем у господарствах площею понад 500 га становить від 1.5 до 2.5 років лише за рахунок економії пестицидів.

Перехід до систем точного землеробства є не просто технічною модернізацією, а фундаментальною зміною філософії агровиробництва. Автоматизація контролю за внесенням пестицидів дозволяє досягти синергії між економічною прибутковістю та екологічною відповідальністю. Результати дослідження показують, що найефективнішими рішеннями є ті, що поєднують збір, обробку та виконання даних, зокрема технології зі змінною швидкістю, автономна техніка та платформи на базі штучного інтелекту. Подальший розвиток алгоритмів штучного інтелекту для ідентифікації патогенів обіцяє ще радикальніше скорочення хімічного навантаження на довкілля. Ці технології допомагають зменшити використання ресурсів, збільшити врожайність та покращити екологічну стійкість.

Ключові пріоритети для України - це розвиток широкосмугового доступу в сільській місцевості, фінансові стимули для фермерів, відкриті платформи сільськогосподарських даних та освітні ініціативи для сприяння цифровій грамотності в агропродовольчому секторі. Але для прискорення цього процесу необхідна державна підтримка, наприклад у формі пільгового кредитування на придбання інноваційного обладнання та розвиток освітніх програм для підготовки «агро-ІТ» спеціалістів.

### **Список використаних джерел**

1. Мамчур В. А., Студінська Г.Я. Інноваційний розвиток аграрної сфери в умовах реалізації національної системи стійкості. Економіка та суспільство. 2023. № 56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-144>
2. Грачов О.А. Штучний інтелект в сільському господарстві. Наука і техніка сьогодні, № 12(40) (2024). С.1162-1173. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-12\(40\)-1162-1173](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-12(40)-1162-1173)
3. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.J. Великі дані в розумному землеробстві — огляд. Сільськогосподарські системи, №153, С.69-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

УДК 631.333

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛЬНО-ДОЗУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ МАШИН ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

**В. В. РАТУШНИЙ** с.н.с., к.т.н., *ІМА АПВ НААН України*  
**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н., **Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.,  
*НУБІП України*

Аналіз конструкцій можливих варіантів виконання розподільчих робочих органів показав, що рівномірність розподілення добрив можна покращити за рахунок застосування розподільчих робочих органів відцентрового типу, обертовий розподільник з виконаними в його бічній поверхні випускними отворами [1, 2].

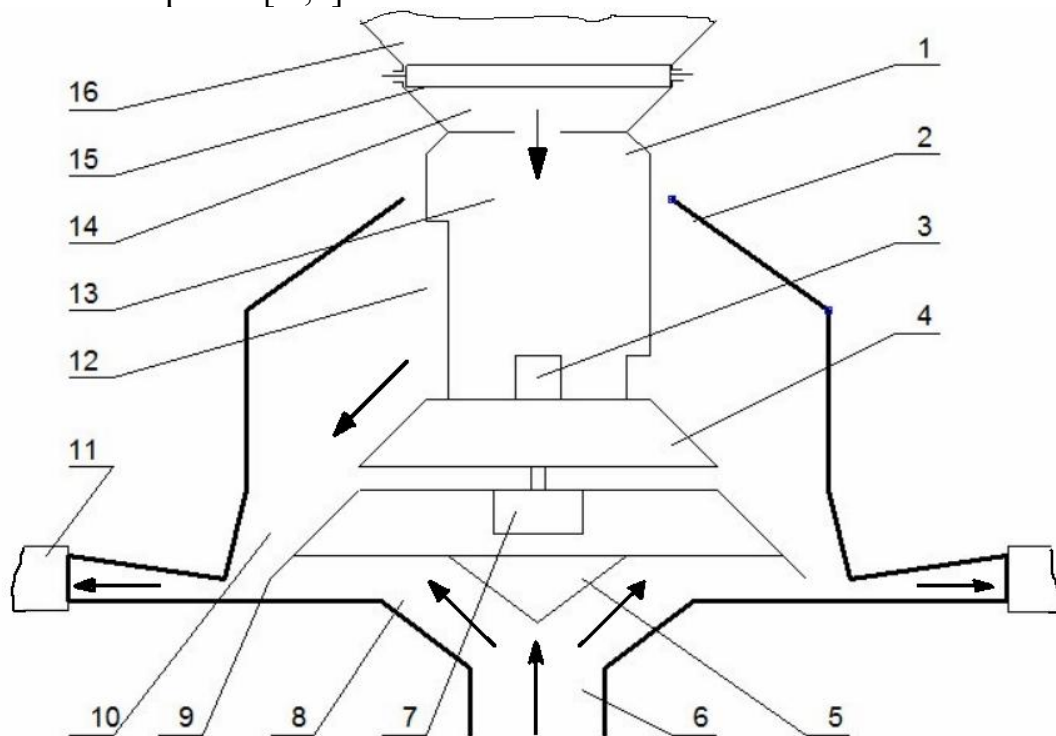


Схема відцентрового розподільчого органу

1- впускне вікно ; 2 - корпус; 3, 12 – випускні вікна ; 4- диск; 5 - розподільник повітряного потоку; 6 - пневматичний привод ; 7 – привод розподільника ; 8 – пневмоканали ; 9 – ежектори ; 10 – прийомні горловини відвідних патрубків ; 11 - канали транспортуючого робочого органу ; 13 – розподільник ; 14 – туконаправитель ; 15 – дозувальний пристрій ; 16 – бункер.

Запропонований робочий орган включає в себе корпус 2, в основі якого знаходяться рівномірно по окружності прийомні горловини відвідних патрубків 10. В корпусі 2 встановлений обертовий розподільник 13, виконаний у вигляді



стакана, дном якого являється центральна частина диска 4 , далі розміщений привод 7. Над впускним вікном 1 розподільника знаходяться туконаправляч 14, з'єднаний з дозуючим пристроєм 15 бункера 16 . У точці з'єднання розподільника з диском по окружності розроблені випускні отвори 3 і 12 .

Приймальні горловини відвідних патрубків 10 являються одночасно завантажувальними горловинами ежекторів 9 , пов'язаними внутрішніми кінцями з пневмоканалами 8 , а зовнішніми – з каналами 11 транспортуючого робочого органу. Пневмоканали з'єднані через розподільник повітря 5 з пневмоприво-водом 6 та з джерелом стиснутого повітря [1 ,2] .

Установка працює наступним чином . Добрива з бункера 16 подаються дозуючим пристроєм 15 через туконаправляч 14 до впускного вікна 1 розподільника 13 . Після чого гранули добрив під дією відцентрових сил розганяються та направляються до випускного вікна 3 і 12 , пройшовши які, добрива переміщуються на периферію диска і направляються до приймальних горловин відвідних патрубків [1]. В цей же час розділений розподільником 5 повітряний потік із пневмопривода 6 поступає по пневмоканалам 8 до ежекторів 9 , де захватує нагромаджені в завантажувальних горловинах гранули добрив і переміщує їх по каналам 11 транспортуючого робочого органу до місця внесення .

### **Висновки**

Найбільш перспективним для використання в багатоканальних пневматичних висівних системах із загальним дозуванням мінеральних добрив є розподільні робочі органи активного типу , які забезпечують незалежне розподілення добрив і повітря з подальшим їх переміщенням по горизонтальним каналам транспортуючих робочих органів до місць внесення в ґрунт .

Проаналізувавши процес роботи запропонованої конструктивно – технологічної схеми розподільного робочого органу пристрою , для досягнення забезпечення якісних показників даного процесу, необхідно досліджувати його окремі елементи і обґрунтувати його конструктивні параметри і режими роботи [2] .

### **Список використаних джерел**

1. Адамчук В.В. Підсумки створення технологічних комплексів для застосування твердих мінеральних добрив і хіммеліорантів //Техніка АПК.- 2000.-№3.- С.10-12.
2. Адамчук В.В. Обґрунтування моделі внесення мінеральних добрив // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха.- ННЦ „ІМЕСГ” , -2002. Вип. 86.- с. 90-99.

УДК 631.365.4

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗЕРНОГО КУЛЬТИВАТОРА

**В. Б. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н., **Б. В. ОНИЩЕНКО** доцент, к.т.н.,  
*НУБІП України*

Основні напрямки економічного і соціального розвитку в Україні передбачають розширення виробництва машин і знарядь з активними робочими органами. У зв'язку з цим конструкторам сільськогосподарської техніки ставиться завдання створити і підвищити технічний рівень фрезерних машин та комбінованих агрегатів, при допомозі яких впроваджувати дрібно-операційні технологічні процеси з використанням машин, побудованих за модульним принципом з серійними уніфікованими вузлами та агрегатами.

У галузях народного господарства фрезерні ґрунтообробні машини застосовують при освоєння лучно-болотних задернілих ґрунтів, обробітку ґрунтів з важким механічним складом.

Експериментальна ріжуча кромка ножа фрезерного культиватора, які мають активний робочий органи з вертикальною віссю обертання, зменшує зусилля різання ґрунту, покращує самоочистку робочого органу, дозволяє на 15-20% підвищити продуктивність праці, зменшити затрати палива.

Враховуючи те, що більш практичним при інженерних розрахунках являються оберти ротора –  $n$ , то їх відповідні величини знаходяться із формули:

$$n = \frac{V_{\text{кол}}}{2\pi R} \quad (1)$$

Звідси відповідні значення ротора  $n_1$  і  $n_2$  рівні:  $n_1=3,75\text{об/с}$  ( $225\text{об/хв}$ );  $n_2=5,0\text{об/с}$  ( $300\text{об/хв}$ ).

В табл.1 наведено середні значення основного показника якості роботи досліджуваних культиваторів: - кришення скиби (кількість комків по масі розміру до 50мм) одержані при експериментальних дослідженнях і випробуваннях на машино випробувальних станціях.

Таблиця.1

Кришення скиби при роботі культиваторів вертикальних фрезерних

| Показник культиватора | Кришення скиби, %           |             |              |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|--------------|
|                       | до 50мм (в т.ч.<br>до 25мм) | 50 – 100 мм | більше 100мм |
| КВФ – 1.5             | 91,3 (67,2)                 | 8,7         | 0            |
| КВФ – 2.8             | 92,7 (73,4)                 | 7,3         | 0            |
| КВФ – 4.0             | 89,6 (75,8)                 | 10,4        | 0            |

Значення кришення скиби для культиваторів КВФ–1.5; КВФ – 2.8 і КВФ–4.0. Одержані відповідно при робочих швидкостях 0,65м/с; 1,56м/с і 1,77м/с.

З табл.1 видно, що проведені аналітичні дослідження були достовірними. При робочих швидкостях культиваторів в межах розрахункових і відповідних обертах робочих органів одержано кришення скиби в межах розрахунку (90% і більше).

Енергетична оцінка культиватора вертикального фрезерного КВФ – 4.0. Зміною при дослідженнях була глибина обробітку і швидкість руху агрегата.

При допомозі тензотрактора (рис.1) визначались такі показники: тягове зусилля трактора, витрати пального, буксування коліс трактора. Тягове зусилля визначалося при допомозі спеціальної тензоланки, вмонтованій в навісній системі трактора. Витрата пального визначалась при допомозі спеціального приладу, вмонтованого на крилі трактора (на зручному місці для включення із кабіни трактора). Буксування коліс трактора визначалось при допомозі заміру обертів коліс трактора і обертів еталонного (п'ятого) колеса. Всі ці заміри фіксувались на спеціальних приладах в кабіні трактора.



Рис. 1. Культиватор КВФ – 4.0 в агрегаті з тензотрактором Т – 150К.

В таблиці 2 представлено одержані енергетичні показники при роботі культиватора КВФ – 4.0. Дослідження проводилися при фрезеруванні ґрунту на глибину 7 – 8см і 10 – 12см, робочими швидкостями були передачі: I понижена (3,5 – 3,6км/год), II понижена (3,8 – 3,9км/год), III понижена (4,5 – 4,7км/год) і IV понижена (5,7 – 6,0км/год). Буксування коліс трактора при відповідних швидкостях складало: 1,5 – 2,0%; 3 – 4,0%; 3,5 – 4,0%; 4,0 – 4,5%; 6,0 – 7,5%.

Таблиця 2

Основні енергетичні показники (тягове зусилля та витрата палива) одержані культиватора КВФ – 4.0 з тензотрактором Т-150К

| Передача        | Показники              | Глибина 7 – 8см | Глибина 10 – 12см |
|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| I<br>Понижена   | Тягове зусилля, кг     | 1226            | 1513              |
|                 | Витрата палива, кг/год | 16,5            | 18,3              |
| II<br>Понижена  | Тягове зусилля, кг     | 1362            | 1596              |
|                 | Витрата палива, кг/год | 17,7            | 19,1              |
| III<br>Понижена | Тягове зусилля, кг     | 1519            | 1696              |
|                 | Витрата палива, кг/год | 18,2            | 21,6              |
| IV<br>Понижена  | Тягове зусилля, кг     | 1629            | 1923              |
|                 | Витрата палива, кг/год | 20,1            | 24,8              |

При середньому значенні тягового опору культиватора по дослідах в межах 1226 – 1923кг, середньо-квадратичному відхиленню по дослідах 99 – 159кг, точність дослідів знаходилась в межах 0,92 – 1,77%.

**Висновок.** Використання вертикальних ножів в фрезерних культиваторах дає можливість значно зменшити тягове зусилля агрегата та покращити якість кришення оброблюваного ґрунту.

### Список використаних джерел

1. Танчик С.П. No-till і не тільки. Сучасні системи землеробства / С.П. Танчик. – К.: Юнівест Медіа, 2009. – 160 с.
2. Сайко В.Ф. Системи обробітку ґрунту в Україні / В.Ф. Сайко, А.М. Малієнко. – К.: ВД «ЕКМО», 2007. – 44 с.
3. Замойська К.В. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на якість роботи роторного культиватора / К. В. Замойська // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип.13. – Кам'янець – Подільський : Абетка, 2005. – С. 475 – 478.

## **Секція 4 «Надійність технологічних систем у тваринництві»**



UDC 620.92:628.336

**REGULATORY AND TECHNOLOGICAL PREREQUISITES  
FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE BIOFUEL  
BASED ON SEWAGE SLUDGE AND GRAIN STRAW**

**V. V. BRATISHKO**, Doctor of Technical Sciences, Professor,

**V. S. KHMELOVSKYI**, Doctor of Technical Sciences, Professor

**V. I. REBENKO**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**S. Yu. KOSTIUK**, Postgraduate Student

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*E-mail: vbratishko@nubip.edu.ua*

In the context of global energy challenges and the transition to circular economy principles, the issue of wastewater sludge disposal is becoming increasingly important. Traditional methods of wastewater sludge disposal (landfilling, composting, etc.) pose increased environmental risks (accumulation of heavy metals, microplastics) and are economically unjustified as they ignore the energy potential of sludge. This problem is particularly acute for small towns in Ukraine, where treatment plants generate significant amounts of sludge but do not have the resources to implement thermal drying technologies.

A promising area for the use of sewage sludge is the production of solid composite biofuel (fuel pellets or briquettes) based on sludge and other available raw materials, such as the non-grain part of agricultural crops. The introduction of technologies for the joint pelleting of sludge with grain straw requires an analysis of regulatory, legal and technological prerequisites.

The key factor determining the possibility of using sewage sludge as fuel is its physical and chemical composition and compliance with environmental standards. Analysis of studies shows a significant difference between sludge from large industrial agglomerations and small settlements.

Thus, sludge from treatment plants in small towns, where domestic wastewater predominates, is characterised by a significantly lower content of heavy metals compared to industrial areas [1]. This is an important regulatory prerequisite, as the low content of toxic substances (cadmium, lead, mercury) in the raw material ensures that emissions from combustion and ash residues will comply with EU environmental standards. Research [2] confirms that sludge from small treatment plants often meets the requirements even for use in agriculture, making it acceptable for energy use from a chemical safety perspective.

The main technological obstacle to direct sludge incineration is the high moisture content in mechanically dewatered sludge (75-85%). Thermal drying to the required 10-15% is an energy-intensive process, which often negates the energy benefits of combustion.

A rational technological solution in this case may be the use of composite fuel technology. The addition of dry biomass, in particular grain straw (with a moisture content of 12-15%), allows the moisture content of the mixture to be reduced. By mixing, a moisture content of 30-40% can be achieved, which, according to [3], is the optimal range for the pelleting process without additional thermal drying.

Sewage sludge has a high organic content (about 43-45%), but its calorific value in a wet state is quite low. In a dry state, the calorific value of the sludge is 8.6-16 MJ/kg, which is comparable to brown coal [4]. Straw, which has a consistently high calorific value (14-17 MJ/kg), acts as an energy stabiliser in the mixture.

Research [5] shows that fuel briquettes and pellets made from a mixture of sewage sludge and straw demonstrate improved mechanical and energy properties compared to single-fuel sludge. In particular, the addition of plant biomass improves combustion kinetics, reduces ash content and lowers harmful gas emissions (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) due to the dilution effect. In addition, the use of straw solves the problem of the 'sticky phase' of sludge during drying, improving the structure of the pellets and their transport.

Therefore, sewage sludge from small towns is a safe raw material for biofuel production due to its low heavy metal content and high organic matter content. The technology of co-pelleting of sludge with grain straw avoids the costly thermal drying stage and produces fuel with a calorific value of 12-16 MJ/kg. Further research will focus on mathematical modelling of the optimal proportions of components to ensure a balance between moisture content, energy value and ash content in the fuel.

### References

1. Litvinov V., Daumova G., Shaikhov M., Sergeyeva N. Analysis of the composition of municipal wastewater sludge from small settlements in East Kazakhstan. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 6. P. 170-178. DOI: 10.12911/22998993/149896
2. Czarnota J., Kurcek J., Twaróg N. Assessment of the possibilities of agricultural use of sewage sludge from small, medium and large wastewater treatment plants. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*. 2020. Vol. 37(67). P. 15-26. DOI: 10.7862/rb.2020.2
3. Yılmaz E., Wzorek M., Akçay S. Co-pelletization of sewage sludge and agricultural wastes. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 203. P. 365-373. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.07.006
4. Raček J., Chorazy T., Komendová R. та ін. Characteristics of a solid carbonaceous product of microwave pyrolysis of sewage sludge. *Desalination and Water Treatment*. 2022. Vol. 265. P. 24-33. DOI: 10.5004/dwt.2022.28423
5. Kujawiak S., Makowska M., Janczak D., Czekala W., Krzesiński W., Antonowicz A., Kupryaniuk K. An analysis of the physicochemical and energy parameters of briquettes manufactured from sewage sludge mixtures and selected organic additives. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 18. Article 4573. DOI: 10.3390/en17184573

УДК 631.363

## КОРНАЖ – ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ МОЛОЧНОГО ТВАРИННИЦТВА

**В. С. ХМЕЛЬОВСЬКИЙ**, д-р. техн. наук, професор  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
*E-mail: [khmelovskyi@nubip.edu.ua](mailto:khmelovskyi@nubip.edu.ua)*

Господарства, у яких ведеться промислове виробництво продукції тваринництва, ставлять перед собою завдання скоротити собівартість кормів. Зокрема, це стосується вирощування, за рахунок високої врожайності, заготівлі у раціональний період, зберігання з використанням якісних сховищ та приготування із застосуванням енергоощадних та комбінованих машин. Проте, із зміною клімату постають нові виклики. При збиранні кукурудзи в осінній період падає дощ, що приводить до підвищення вологості кукурудзи, ці умови вимагають використання сушарок, а залишена кукурудза на полі часто там і залишається без обмолоту. У господарствах де є тваринництво, таких проблем можна частково уникнути.

Зерна кормових сільськогосподарських культур мають міцну оболонку, яку потрібно зруйнувати для засвоєння вмісту зерна. Шлункові ферменти роблять це недостатньо ефективно. Тому механічне руйнування оболонки зерна (подрібнення, плющення) допомагає травному соку швидше вивільнити поживні речовини і перевести їх у форму, доступну для засвоєння твариною.

Приготування корнажу, як високоенергетичного корму, який отримують шляхом подрібнення та силосування вологого зерна кукурудзи (інколи зі стрижнями) в рукаві, повинно мати оптимальну вологість від 32 до 38 %. Оптимальна вологість зерна кукурудзи, призначеного для подрібнення та силосування в рукаві, повинна складати від 32 до 38 %. Процес приготування корнажу включає: збирання вологого зерна кукурудзи, подрібнення, додавання до нього консервантів для запобігання псуванню та герметичне зберігання кормової маси у рукавах або траншеях. Це суттєво усуває потребу в сушінні зерна. Ступінь подрібнення зерна для високопродуктивних корів потрібен максимальний. Годівля корнажем може забезпечити достатнє перетравлювання зернових кормів тваринами, адже залишки неперетравлених компонентів є однією з важливих проблем для ведення рентабельного тваринництва. Покращення доступності поживних речовин в кормі дає можливість ефективніше використати його, збільшити приріст маси тварини чи кількість продукції (молока, яєць тощо) та зменшити частку втрат.

Зерно з високою вологістю, подрібнюється за допомогою спеціальних вальцевих плющилок або зернових дробарок, що дозволяють переробляти вологі компоненти. Однією з машин для подрібнення корнажу є навісна австрійська дробарка «Грубер профі» 600 U.

Приготування корнажу набуває все більшої популярності, адже має ряд переваг:

- зменшення кількості відходів при відгодівлі;
- не осідає в рубці і не призводить до кислотного дисбалансу в шлунку тварини;
- стимулює травну систему жуйних тварин;
- має меншу кількість пилоподібної фракції.

Найкращий спосіб консервування та зберігання корнажу із кукурудзи — це полімерний рукав. Корнаж, запакований в рукав, не має контакту із повітрям, що дозволяє зберігати його впродовж значного терміну (більше одного року). Подрібнення і пакування в рукави зернової частини, яка призначена для корму, має значний економічний ефект у порівнянні із згодовуванням сухого зерна, переробленого на комбікорм. Враховуючи вище наведені дані можна стверджувати, що технологія заготівлі корнажу є доступною, особливо, для тих господарств, які освоїли технологію силосування трав. Корнаж заготовлюється у вологому стані з внесенням консерванту, після чого відбувається його ущільнення і зберігається у герметичних умовах до початку його використання.

Поряд з тим, що технологія консервування корнажу, на перший погляд, вивчена, важливим елементом в його застосуванні є товщина часток продуктів подрібнення. Саме цей показник вимагає додаткових досліджень. Зменшення величини зерна дає можливість сокам ферментної системи шлунково-кишкового тракту тварини проникати по усій площі.

**Висновки:** Отже, можна стверджувати, що корнаж із вологого зерна кукурудзи є вагомою альтернативою виробництва кормів для молочного стада. Для якісного корнажу та ефективної роботи подрібнювальних машин потрібно провести дослідження, пов'язанні із визначенням раціонального розміру часток та впливу конструкційних параметрів робочих органів на енергомісткість подрібнювача.

#### Список використаних джерел

1. Технологія закладки у рукава вологого зерна кукурудзи (корнажу). <https://ag-bag.ua/advice/tehnologija-zakladki-u-rukava-vologogo-zerna-kukurudzi-kornazhu>
2. Кормозаготівля: те, що криється в деталях. <https://milkua.info/uk/post/kormozagotivla-te-so-krietsa-v-detalah-Inter>
3. Плющення зерна кукурудзи для згодовування великій рогатій худобі. <http://milkua.info/uk/post/plusenna-zerna-kukurudzi-dla-zgodovuvanna-velikij-roгатij-hudobi>
4. Валкова плющилка ДЗВ-300 від Артмаш детальний огляд. <https://www.youtube.com/watch?v=7udDe4ttkhY>.
5. Плющити чи дробити? <https://vak.net.ua/ua/article/pliushchiti-chi-drobiti->

УДК 631.363.2

## ОГЛЯД ЗАСОБІВ КОМФОРТУ КОРІВ У ЗОНІ ВІДПОЧИНКУ

**О. О. ЗАБОЛОТЬКО**, к.т.н., доцент

**Н. В. БУРЛАКА**, студент магістратури

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: zabolotko@nubip.edu.ua*

Місця відпочинку, для утримання корів, до них пред'являється комплекс обов'язкових умов, що забезпечують здоров'я тварин і зручність догляду за ними.

Лежати - це для корів дуже важливо. Вони лежать від 11 до 13 годин щодня. При цьому йдеться не про сон (для нього в середньому коровам вистачає двадцяти хвилин щодня), а для жування жуйки та відпочинку кінцівок.

Зоні відпочинку корів приділяється постійна увага. На багатьох фермах за останні двадцять років генетика стада зазнала значних змін. Окрім збільшення продуктивності, тварини стали «більшими». Корова стала вибагливіша до штучних (промислових) умов утримання. Особливо змінилися вимоги до зон утримання, одна з таких – це зона «відпочинку» у боксі за безприв'язним та стійло за прив'язним способами утримання, яка реалізується стійловою системою.

Стійла у корівниках не змінюються разом з тваринами, тому найчастіше місця для відпочинку стають тісними та незручними. Тому спостерігається тенденція до збільшення випадків хвороб корів.

Все починається з вивчення поведінки великої рогатої худоби. Корови дуже особливо лягають і постають, рух корів досліджено датчанами [ ]. В кожному випадку їм нічого не повинно заважати, воно повинно відбуватися природньо. Це означає, що корова повинна мати можливість рухатися в стійлі або боксі так само, як і на пасовищі (природніх умовах). Але основна проблема в тому, коли корова встає чи лягає, їй потрібно витягнути голову вперед в стійлі або боксі (одинарному, спареному) недостатньо простору для цього. Особливо коли стійло або бокс біля стіни.

Вирішальними для визначення розмірів стійла або боксу є три простори:

- простір для тіла;
- простір для голови;
- простір для руху (особливо коли корови лягають або встають).

Тому, стійло розташоване біля стіни та з перегородкою, що не дозволяє корові рухатися убік, замало, щоб корова могла вставати нормально. Коли бокси розташовані в два ряди, корова може використовувати бокс навпроти як додатковий простір. Коли бокси розташовані біля стіни, потрібно забезпечити додатковий простір для голови або встановити бічні перегородки таким чином, щоб корова могла повернути голову в бік.



Обмежувачі для шиї не дають корові можливості заходити в глиб боксу та стійло і завдяки цьому менше забруднюється. З цією метою, також, використовують колінні бруси.

Поверхня підлоги зони «відпочинку» також дуже важлива. Вона має бути м'якою, але водночас забезпечувати достатній контакт з поверхнею. Пісок, як правило, вважаються ідеальним матеріалом для підстилки. Він гігієнічний та зручний. Шару завтовшки 15 см цілком достатньо для комфорту тварин. Це означає, що кожен день на корову потрібно 15 кг піску і постійно потрібні великі витрати на підстилку та додаткову роботу. Саме тому найпопулярнішим матеріалом для покриття підлог у стійлах є мати. Вони повинні бути не тільки комфортними, а й міцними та неслизькими. З гігієнічних міркувань мати слід робити з нахилом 2-5% для кращого стоку рідини. Підстилку потрібно утримувати чистою, тому потреба в підстилковому матеріалі буде завжди, а самі стійла або бокси слід чистити двічі на день. Погано обладнані підлога стійла можуть викликати проблеми з колінними сухожиллями задніх кінцівок і самими колінами, вони також стають джерелом хвороб, пов'язаних з копитами (кульгавість через тривале перебування на ногах), пошкодження вимені, забруднення його та збільшення вмісту соматичних клітин, що призводить до маститу.



Рис. 1 – Бокс для відпочинку з матами

Дослідження покриття зон «відпочинку» проводили різними дослідниками [ ]. Вони розглядали покриття з бетону, піску, мати різної конструкції та матеріалу, ґрунт та природної підстилки (солома, тирса, торф). Матеріал, яким вистилають підлогу в стійлі, має велике значення для комфорту тварини. Від матеріалу поверхні залежить тривалість лежання і відпочинку корови. Дослідження показали, що відпочинок на бетоні в середньому складає 7,2 год., пісок на бетоні 10,0 год, солома на бетоні 10,1 год, ґрунт з соломою та гумові мати від 11 до 13 год, матраци 14,4 год.

Відповідно до зоотехнічних вимог (рис. 1), одна з важливих і необхідних умов - забезпечення покриття підлоги, що корова проводить більше 12 годин на добу лежачи на підлозі. Підлога в корівнику має бути рівною, теплою, сухою, такою, що легко прибирається, вологостійкою і стійкою до продуктів життєдіяльності худоби, тому що вона має забезпечити комфортні умови життя тварин. Гумові мати мають високу щільності та еластичності.

Гумові мати призначений для використання в стійлах та боксах. Канали на нижній стороні килимка забезпечують дренаж та еластичність, включає чисту гуму, для додаткового комфорту та м'якості. Конусоподібні шипи на нижній стороні поглинають удари та дозволяють воді стікати в усіх напрямках.

Мати (рис. 2) для корів типу RM призначені для корів за прив'язним утриманням та витримують надмірний механічний вплив, який спричиняє тварина на прив'язі. Мат для корів типу CM за результатами їх використання в стійлі менше гною, відповідно, покращується гігієна, стан здоров'я вимені та ратиць. Завдяки структури поверхні матів CM, витрати на підстилковий матеріал значно зменшуються.

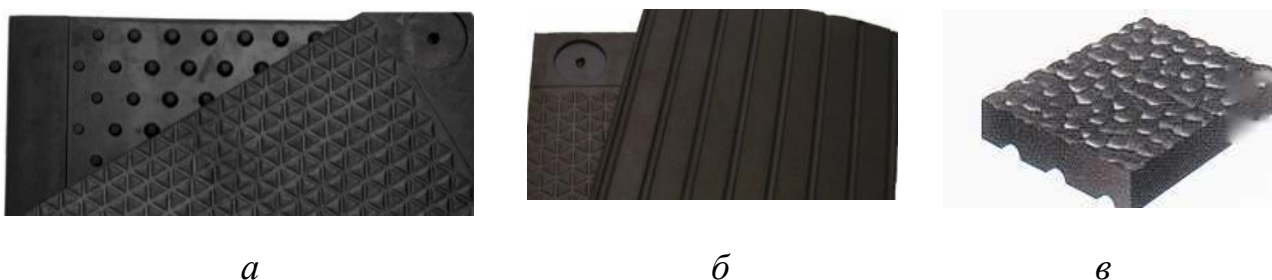


Рис. 2 – Мати для корів: *а* - RM21BS, *б* - RM14 та *в* - CM (фірми Де Лаваль)

Мати (рис. 3) для корів виробництва Україна відповідають вимогам комфорту тварини у місцях відпочинку, стійкі до температурних перепадів, тому навіть за низької температури вони не ковзають, а тварини безперешкодно піднімаються та лягають. Це не лише зменшує навантаження на суглоби корів, але й запобігає травмам.

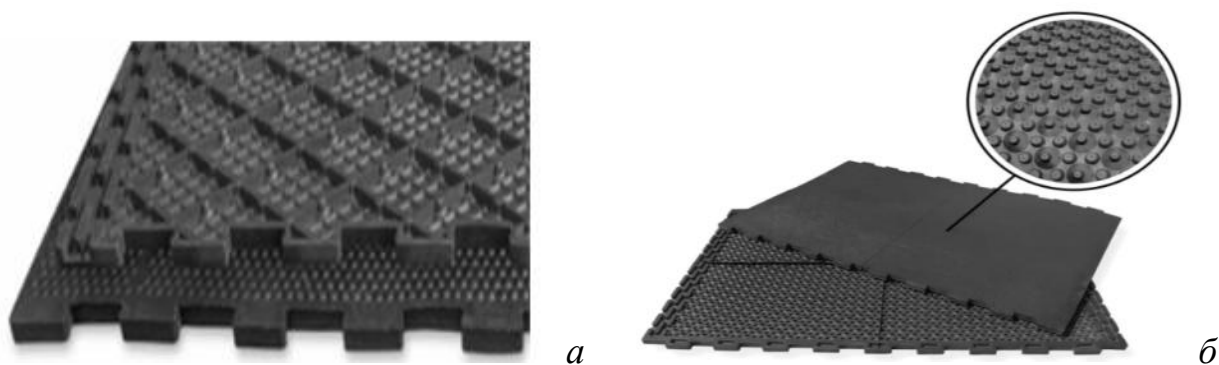


Рис. 3 – Гумові мати *а* - «Rombo» та *б* - «COW MAT» (зміцнений нейлоновим кордом) виробництва Україна.

Отже, підвищення ефективності виробництва молока питання комплексне. Проблеми із комфортом корів існують у багатьох корівниках і ведуть до зниження ефективності, зростання витрат на виробництво, проблеми із здоров'ям та лікуванням корів. Використання матів у місцях відпочинку корів відповідає основним зоотехнічним вимогам.

### Список використаних джерел

1. Как корова ложится в стойло? 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.
3. Свантессон П.. Каталог продукції Де Лаваль для молочних ферм. // Електронний ресурс / <https://www.delaval.com/uk/dobrobut-tvarin/komfort-koriv-ta-stiyllove-obladnannya/gumovi-kilimki/mat-dlya-koriv-delaval-rm14/и>

УДК 639.3.06

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ІЗ ОСАДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ АКВАКУЛЬТУРИ

Г. А. ГОЛУБ, доктор технічних наук, професор,  
О. А. ЯРЕМЕНКО

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: oxanalutak@ukr.net*

Загальновідомо, що витрати на виробництво біометану із осаду рециркуляційних систем аквакультури включають виробничі витрати на одержання біометану за вирахуванням перевищення вартості збродженого осаду порівняно із вартістю осаду до зброджування:

$$B_{BM} = V_{BM}C_{BM} = m_{LM}C_{LM} - m_{OF}C_{OF} + E_{PBM}, \quad (1)$$

звідки виробнича собівартість виробництва біометану, з урахуванням того, що  $m_{LM} \approx m_{OF} = m_{PB}$ , становить:

$$\begin{aligned} C_{BM} &= \frac{m_{PB}}{V_{BM}} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \frac{V_{PB}\rho_{PB}}{V_{BM}} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \\ &= 365 \frac{V_P\rho_{PB}}{V_{BM}\tau_{FT}} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \\ &= \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM}, \end{aligned} \quad (2)$$

а перевищення ціни збродженого осаду порівняно із вартістю осаду до зброджування для забезпечення нульової собівартості біометану становитиме:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{E_{BM}k_{BM}\tau_{FT}}{\rho_{PB}} \quad (3)$$

або з урахуванням амортизаційних витрат:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{(E_{BM} + A_{BM})k_{BM}\tau_{FT}}{\rho_{PB}}, \quad (4)$$

де  $B_{BM}$  – витрати на виробництво біометану, грн;  $V_{BM}$  – об'єм одержаного біометану, м<sup>3</sup>;  $C_{BM}$  – виробнича собівартість біометану, грн/м<sup>3</sup>;  $m_{LM}$  – маса осаду, що надходить на зброджування, т;  $m_{OF}$  – маса збродженого осаду, т;  $m_{PB}$  – маса переробленої в біогазовому реакторі біомаси, т;  $C_{LM}$  – ціна осаду, що надходить на зброджування, грн/т;  $C_{OF}$  – ціна збродженого осаду, грн/т;  $E_{PBM}$  – виробничі витрати на виробництво біометану без урахування вартості осаду, що надходить на зброджування та збродженого осаду, грн;  $E_{BM}$  – питомі виробничі витрати на виробництво біометану, грн/м<sup>3</sup>;  $V_{PB}$  – об'єм переробленої в біогазовому реакторі біомаси, м<sup>3</sup>;  $\rho_{PB}$  – густина переробленої в біогазовому реакторі біомаси, т/м<sup>3</sup>;  $V_P$  – об'єм біомаси в біогазовому реакторі, м<sup>3</sup>;  $\tau_{FT}$  – час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, діб;  $k_{BM}$  – вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> добу;  $A_{BM}$  – амортизаційні витрати на виробництво біометану, грн/м<sup>3</sup>.

Подальша деталізація виразу (2), шляхом розкриття структури питомих виробничих витрат на виробництво біометану, дозволяє записати:

$$C_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}} (C_{LM} - C_{OF}) + (1 + k_{TE} + k_{GEE})(MAR_{BM} + EL_{BM} + S_{BM}), \quad (5)$$

де  $k_{TE}$  – коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати, відносних од.;  $k_{GEE}$  – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.;  $MAR_{BM}$  – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництва біометану, грн/м<sup>3</sup>;  $EL_{BM}$  – вартість витраченої електричної енергії при виробництві біометану, грн/м<sup>3</sup>;  $S_{BM}$  – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві біометану, грн/м<sup>3</sup>.

Значення коефіцієнтів, що обумовлюють ефективність виробництва біометану та електроенергії на його основі, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів для розрахунку собівартості виробництва біометану

| Показник                                                                             | Позначення                          | Значення                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Потреба в біомасі для отримання 1 м <sup>3</sup> біометану за час зброджування       | $\frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}}$ | 0,0476 т/м <sup>3</sup> або 47,6 кг/м <sup>3</sup> |
| Коефіцієнт, що враховує загальновиробничі та загальногосподарські витрати, відн. од. | $1 + k_{TE} + k_{GEE}$              | 1,15                                               |

Визначимо собівартість виробництва біометану при анаеробному зброджуванні осаду рециркуляційних систем аквакультури на основі вихідних даних для розрахунку економічних показників виробництва біометану, кількості біомаси, необхідної для отримання 1 м<sup>3</sup> біометану за увесь час зброджування та вихідних даних для розрахунку собівартості виробництва

біометану наведених в таблиці 2. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.

Таблиця 2. Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану

| Показник                                                                                                          | Поз.        | Значення |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| для розрахунку економічних показників виробництва біометану                                                       |             |          |
| Коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати, відн. од.                                                      | $k_{TE}$    | 0,05     |
| Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.                                                   | $k_{GEE}$   | 0,1      |
| Відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки, грн/м <sup>3</sup>                         | $MAR_{BM}$  | 1,32     |
| Вартість витраченої електричної енергії на виробництво, грн/м <sup>3</sup>                                        | $EL_{BM}$   | 0,4      |
| Фонд заробітної плати персоналу з нарахуваннями, грн/м <sup>3</sup>                                               | $S_{BM}$    | 0,3      |
| для розрахунку кількості біомаси, необхідної для отримання 1 м <sup>3</sup> біометану за увесь час зброджування   |             |          |
| Густина біомаси вологістю 92,74 % для переробки в біогазовому реакторі, т/м <sup>3</sup>                          | $\rho_{PB}$ | 1,05     |
| Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> добу | $k_{BM}$    | 1,05     |
| Час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, діб                                                        | $\tau_{FT}$ | 21       |
| для розрахунку собівартості виробництва біометану                                                                 |             |          |
| Ціна біомаси осаду для зброджування в біогазовому реакторі, грн/т                                                 | $C_{LM}$    | 40       |
| Ціна збродженого в біогазовому реакторі осаду, грн/т                                                              | $C_{OF}$    | 40       |
| Різниця цін біомаси осаду до зброджування в біогазовому реакторі та збродженого осаду, грн/т                      | $\Delta C$  | 0        |

Питомі виробничі витрати на виробництво біометану становлять:

$$E_{BM} = (1 + k_{TE} + k_{GEE})(MAR_{BM} + EL_{BM} + S_{BM}) = (1 + 0,05 + 0,1)(1,32 + 0,4 + 0,3) = 2,32 \frac{\text{грн}}{\text{м}^3}. \quad (6)$$

Вихід біометану із 1 м<sup>3</sup> біомаси за увесь час зброджування:

$$V_{BM} = k_{BM}\tau_{FT} = 1,05 \cdot 21 = 22,05 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}. \quad (7)$$

Собівартість виробництва біометану становить:



$$C_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} =$$

$$= \frac{1,05}{1,05 \cdot 21} (40 - 40) + 2,32 = 2,32 \frac{\text{грн}}{\text{м}^3}. \quad (8)$$

Прибуток від виробництва біометану становить:

$$P_{BM} = P_{NG} - C_{BM} = 7,95689 - 2,32 = 5,63 \frac{\text{грн}}{\text{м}^3}. \quad (9)$$

де  $P_{NG}$  – ціна природного газу, грн/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3. Результати розрахунку економічних показників виробництва біометану

| Показник                                                                                                           | Позначення | Значення |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| Питомі виробничі витрати на виробництво біометану, грн/м <sup>3</sup>                                              | $E_{BM}$   | 2,32     |
| Вихід біометану із 1 м <sup>3</sup> біомаси за увесь час зброджування, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>              | $V_{BM}$   | 22,05    |
| Кількість біомаси, необхідної для отримання 1 м <sup>3</sup> біометану за увесь час зброджування, т/м <sup>3</sup> | $m_{BM}$   | 0,0476   |
| Собівартість виробництва біометану, грн/м <sup>3</sup>                                                             | $C_{BM}$   | 2,32     |
| Ціна природного газу, грн/м <sup>3</sup>                                                                           | $P_{NG}$   | 7,95689  |
| Прибуток від виробництва біометану, грн/м <sup>3</sup>                                                             | $P_{BM}$   | 5,63     |

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану в залежності від ціни осаду до зброджування та після зброджування наведені в таблиці 4, а результати на рисунку 1.

Різниця цін біомаси осаду до зброджування в біогазовому реакторі та після зброджування для забезпечення нульової собівартості біометану становитиме:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{E_{BM}k_{BM}\tau_{FT}}{\rho_{PB}} = \frac{2,32 \cdot 1,05 \cdot 21}{1,05} = 48,78 \text{ грн/т} \quad (10)$$

Таблиця 4. Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану в залежності від ціни осаду до зброджування та після зброджування

| Ціна біомаси осаду до зброджування в біогазовому реакторі $C_{LM}$ , грн/т                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 40                                                                                                           | 35   | 30   | 25   | 20   | 15   | 10   | 5    | 0    |
| Ціна осаду після зброджування в біогазовому реакторі $C_{OF}$ , грн/т                                        |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 40                                                                                                           |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Різниця цін біомаси осаду до зброджування в біогазовому реакторі та після зброджування ( $\Delta C$ ), грн/т |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0                                                                                                            | -5   | -10  | -15  | -20  | -25  | -30  | -35  | -40  |
| Собівартість виробництва біометану ( $C_{BM}$ ), грн/м <sup>3</sup>                                          |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2,32                                                                                                         | 2,08 | 1,85 | 1,61 | 1,37 | 1,13 | 0,89 | 0,66 | 0,42 |



Рис. 1. Розрахунок собівартості виробництва біогазу

У більш повному обсязі дані розрахунки приведені в [1].

### Список літератури

1. G. Golub, V. Lutak, O. Kepko, O. Marus, O. Yaremenko. Determining impact of difference in price of liquid manure and digestate on production costs of biogas and electricity. – Proceedings of the 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 2021, Jelgava, Latvia, May 26-28, 2021, 314-319. DOI: 10.22616/ERDev2021.20.TF067.

<http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2021/Papers/TF067.pdf>

УДК 631.3:636

## ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОЇЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДОЯРАМИ

**В. І. РЕБЕНКО**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Від доярів на сучасних молочних фермах очікується не тільки виконання великої кількості завдань під час доїння, але й виконання їх якісно, стабільно і часто протягом тривалого періоду часу. Ці завдання можуть включати спокійне, але ефективне заведення корів у доїльну залу, забезпечення хорошої стимуляції та ефективного очищення дійок, а також правильне приєднання доїльного

апарату до кожної корови. Після доїння корів необхідно правильно обробити їх післядоїльною рідиною та запропонувати вийти з доїльної зали, щоб звільнити місце для наступної групи корів.

У процесі виконання всіх цих завдань іноді можуть бути пропущені проблеми з доїльним обладнанням. Тому, крім навчання доярів виконувати всі вищезазначені завдання, їх також слід навчити оцінювати основний стан та функціонування обладнання для доїння.

Деякі з найпоширеніших речей, на які вони повинні звертати увагу, включають заблоковані вентиляційні отвори, тріщини в пульсаційних (коротких повітряних) трубках, скручена дійкова гума та затиснуті шланги. Хоча це може здатися довгим списком речей, які потрібно перевіряти, але після того, як дояр навчиться звертати увагу на ці речі, це стане для нього звичним і не вимагатиме багато часу та зусиль.

Повітряні отвори в доїльній гумі або молочному шлангу призначені для створення навмисного «витоку» повітря в стакані, щоб сприяти відтоку молока від дійок в молочний шланг. Ці отвори призначені для пропускання певної кількості повітря в стакані, і якщо вони забиті шерстю, підстилкою та/або гноєм, вони не будуть функціонувати належним чином. Дояри повинні не тільки розуміти важливість наявності чистих/прохідних вентиляційних отворів, але й знати, де вони розташовані, і як перевірити, чи вони функціонують. Зазвичай можна почути невеликий шипіння повітря, що надходить у функціональний вентиляційний отвір, але якщо ви не впевнені, чи вентиляційний отвір працює належним чином, можна піднести до нього невеликий шматочок латексної рукавички. Якщо вентиляційний отвір відкритий, рукавичка повинна «прилипати» до нього.

Необхідно мати відповідні інструменти, щоб дояри або керівник доїльної зали могли прочистити забитий вентиляційний отвір або замінити його новим чи очищеним. В ідеалі це слід робити одразу після виявлення проблеми. Як мінімум, якщо дояр виявив забитий вентиляційний отвір, він повинен зробити відповідну позначку на дошці або надіслати повідомлення керівнику доїльної зали, щоб попередити його про цю проблему.

Здавалося б, що тріснута коротка повітряна трубка повинна бути дуже помітною для дояра, але, очевидно, зношені, сухі, гnilі та/або тріснуті трубки все ще часто виявляються в доїльних залах. (Подібні проблеми можуть виникати в пульсаційних шлангах, особливо в місцях їх з'єднання з захватом). Ці дефектні/негерметичні трубки заважають нормальному руху (пульсації) дійкової гуми, в результаті чого не досягається хороший потік молока з дійки, оскільки між гумою і корпусом не може утворитися належний вакуум. Це може призвести до надмірного залишку молока в чверті, де є тріщина/поломка короткої повітряної трубки, що, в свою чергу, може спричинити мастит у корови в цій чверті. Залежно від того, як доїльний апарат розташований на кожній корові, тріщина в короткій повітряній трубці не завжди може спричинити ненормальну пульсацію, тому іноді це буде сценарій

«випадковості». Дояри мають перевіряти, чи короткі повітряні трубки в хорошому стані, коли вони миють доїльні апарати в кінці доїння, але вони також повинні прислухатися до витоків вакууму і шукати тріщини в трубках під час доїння. Проактивна заміна коротких повітряних трубок за регулярним графіком також повинна бути частиною рутинного обслуговування доїльного обладнання.

Дояри повинні знати, де можна взяти нові короткі повітряні (пульсаційні) трубки, і що їх слід негайно замінювати, коли вони помічають проблему.

Важливо правильне вирівнювання дійкової гуми в стаканах. Скручування може статися тому, що компанії, які виробляють доїльне обладнання, часто надають послугу з установки нової дійкової гуми у додатковий комплект стаканів за регулярним графіком, щоб дояри просто замінювали стакан і дійкову гуму як одне ціле. Хоча це зручна послуга, вона може означати, що дояри та/або менеджери доїльних залів ніколи не проходять процес заміни дійкової гуми, і тому вони можуть навіть не усвідомлювати важливість вирівнювання позначок на дійковій гумі у верхній і нижній частинах стакана.

Незалежно від того, чи є вкладиш (дійкова гума) круглим, трикутним, квадратним або іншої форми, їх вирівнювання в оболонці має вирішальне значення для забезпечення належного циклу доїння та масажу. Навіть незначне (1/8 або більше) скручування під час надування може призвести до недоїдання цієї чверті, оскільки надування не може відкритися належним чином. Це означає, що в чверті може залишитися надмірна кількість молока або доїльний апарат може залишатися увімкненим протягом тривалого часу. Обидва ці сценарії можуть призвести до підвищення ризику розвитку маститу. Дояри повинні перевіряти, чи правильно вирівняні індикатори вирівнювання на дійковій гумі, принаймні на початку кожного доїння. Дояри повинні знати, що в багатьох ситуаціях вони можуть спричинити неправильне вирівнювання надувних частин, агресивно знімаючи апарати з доїльних чашок і/або навіть з добрими намірами агресивно скручуючи мундштуки під час їх очищення рушником. Навіть у разі використання корпусів і дійкової гуми з індексаційними (вирівнювальними) виїмками можуть виникати дуже очевидні проблеми зі скручуванням цих апаратів.

Затиснуті (молочні/пульсаторні) шланги можуть мати значно знижену пропускну здатність, незалежно від того, чи є затискання тимчасовим або постійним станом. Це може статися, якщо шланг неодноразово затискається (вакуумним) запірним клапаном, якщо шланг занадто короткий або занадто довгий, якщо «застібки-блискавки» затягнуті занадто туго (особливо на шлангах пульсатора), або це може статися, коли вони втрачають свою форму в міру старіння. Доярів слід навчити стежити за будь-якими обмеженнями/деформаціями в будь-яких шлангах і негайно повідомляти про них керівника доїльної зали. Регулярні перевірки всіх шлангів (кожні 2-4 тижні) та регулярний графік заміни є корисними для запобігання проблемам та/або дозволяють їх своєчасно виявити.

Хоча існують й інші проблеми, пов'язані з технічним обслуговуванням обладнання та його несправностями (наприклад, пульсатори), це лише деякі з найбільш поширених, які дояри можуть і повинні контролювати, і які можуть впливати на здоров'я вимені та продуктивність доїння. Навчання доярів та керівників доїльних залів про важливість цих питань та способи їх вирішення допоможе запобігти виникненню або продовженню серйозних проблем.

**УДК 631.363**

## **ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА ДО ЗГОДОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИМ ТВАРИНАМ**

**В. Р. МОНЬКО** студент магістратури, **С. Є. ПОТАПОВА**, к.т.н., доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
*E-mail: potapova@nubip.edu.ua*

Технологічне обладнання для підготовки кормів до згодовування звичайно класифікують за призначенням, організацією процесу та конструктивними ознаками. Подрібнювачі, що використовуються для переробки зерна, розрізняють:

- за призначенням (спеціальні, універсальні та комбіновані);
- за організацією робочого процесу (порційні та потокові);
- за типом робочих органів (молоткові, вальцьові, конусні та ін.);
- за способом подавання матеріалу в подрібнювальну камеру (самопливом або примусово);
- за способом відведення продуктів подрібнення (самопливом, з механічним чи пневматичним транспортером).

Конструкція, матеріал і форма робочих органів машини визначають принцип її дії на перероблюваний матеріал. За характерними особливостями взаємодії між робочими органами і перероблюваним матеріалом слід виділити чотири основні способи подрібнення:

- роздавлювання або плющення (стискання) часток між двома поверхнями;
- перетирання (стискання та зсув) при дії на частки двох поверхонь, одна з яких рухома;
- розбивання ударом;
- різання при дії на частки різальних кромок робочих органів.

В практиці кормоприготування переважають подрібнювачі комбінованої дії, в яких один із основних способів може проявлятися в більшій мірі, ніж інші. При виборі принципу дії подрібнювача слід враховувати фізико-механічні та технологічні властивості перероблюваної сировини, його здатність



забезпечувати високу якість одержуваного продукту при мінімізації питомих енергоємності та матеріаломісткості процесу.

Незалежно від принципу дії, ступеня подрібнення, а також фізико-механічних властивостей вихідної сировини подрібнювачі повинні забезпечувати: рівномірність фракційного складу продуктів подрібнення, не знижуючи при цьому їх споживчих якостей; своєчасне видалення продуктів подрібнення із робочої зони машини; можливість регулювання ступеня подрібнення; мінімальні вихід цілих зерен та утворення пилу; раціональні затратні показники (енерго-, метало- та трудомісткість); легку заміну швидкозношуваних робочих органів; простоту конструкції та обслуговування; високу зносостійкість робочих органів та надійність машини.

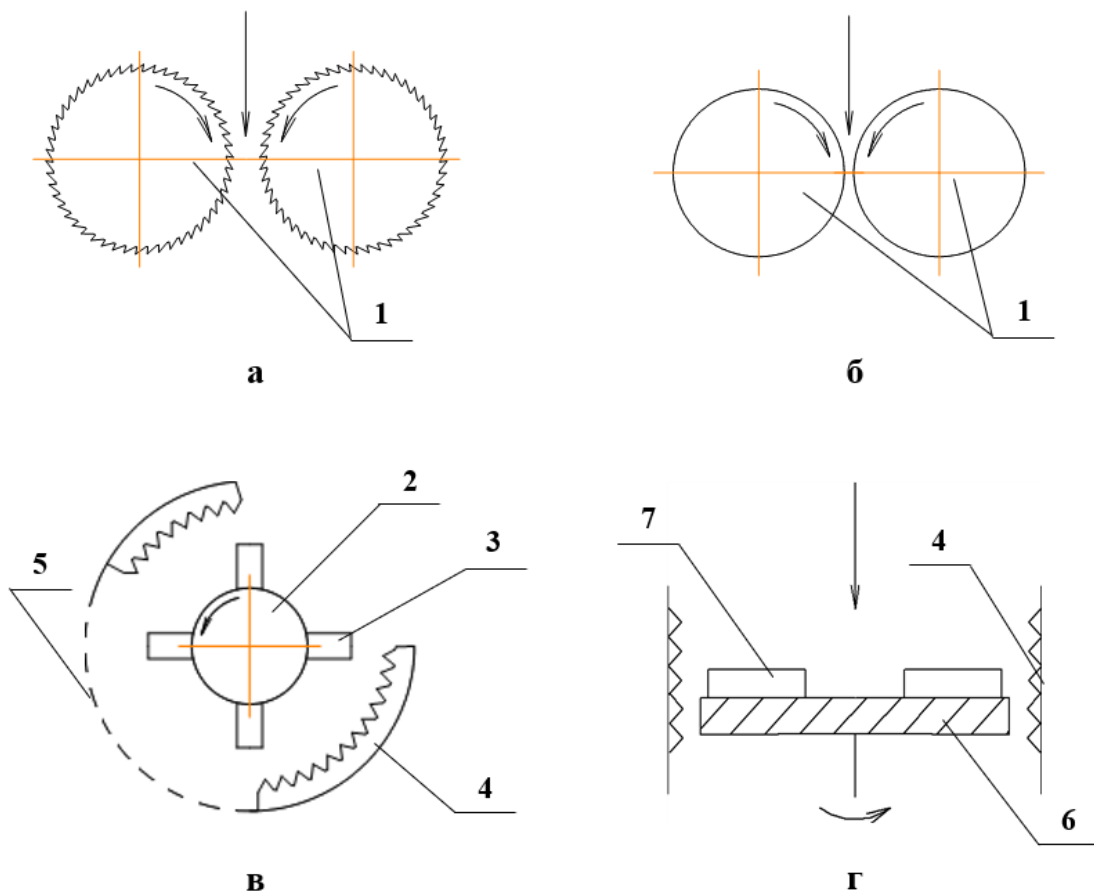


Рис. 1. Основні машин для переробки зерна: а – вальцьова дробарка, б – плющилка, в – молоткова дробарка, г – ножовий подрібнювач; 1 – вальці, 2 – ротор, 3 – молоток, 4 – дека, 5 – решето, 6 – диск, 7 – ніж.

Конструктивні переваги молоткових дробарок (рис. 1 в), такі як універсальність щодо можливості подрібнення різних видів кормів, можливість регулювання ступеня подрібнення у відносно широких межах сприяли широкому використанню в сільському господарстві. Проте ці подрібнювачі мають істотні недоліки. Найбільш вагомі з них – велика нерівномірність фракційного складу продуктів подрібнення, що в кінцевому результаті веде до

перевитрати зерна, а також висока енергомісткість процесу. Вміст пиловидної фракції може становити від 6 до 20 % по вазі, причому на її утворення витрачається від 60 до 70% всієї енергії, що йде на подрібнення. В той же час при грубому подрібненні кінцевий продукт може містити до 20% не доподрібненої фракції. Наявність переподрібненої пиловидної фракції є небажаною, оскільки вона втрачається при транспортно-навантажувальних роботах та при роздаванні кормів за рахунок розпилювання, шкідливо діє на дихальні шляхи людей та тварин, важко змочується водою та слиною тварин і гірше засвоюється їх організмом.

Основною перевагою ножових подрібнювачів (рис. 1 г) є низька енергомісткість процесу подрібнення та відсутність пиловидної фракції. Проте вони мають істотні недоліки. В першу чергу це низька надійність робочих органів. Заміна швидкозношуваних жорстко закріплених ножів являє певні незручності при експлуатації, а також впливає на собівартість подрібнюваних кормів.

Принцип роздавлювання або плющення зерна застосовується в зерноплющилках (рис. 1 б), обладнаних двома гладенькими вальцями, що обертаються з однаковими швидкостями. Зерно під дією сил тертя по поверхні зтягується вальцями в зазор, стискається і роздавлюється, в результаті чого одержують продукт у вигляді пластівців. Існують плющилки з внутрішнім контактом робочих поверхонь, проте вони складніші у конструктивному відношенні і менш розповсюджені.

Плющилки добре переробляють свіжозібране зерно підвищеної вологості. Сухе зерно перед плющенням слід зволожувати, а ще краще – піддавати вологотермічній обробці. Недоліки плющилок: обмежена область використання; погано переробляють сухе зерно.

Під час роботи вальцьових дробарок (рис. 1 а) руйнування зерна відбувається переважно в результаті зсуву (різання) з елементами стискання. Вальці дробарок можуть бути як з рифленими (нарізними), так і з гладенькими поверхнями, що мають різні лінійні швидкості. Значною перевагою цих машин є висока рівномірність продуктів подрібнення. Це має істотне значення, оскільки, наприклад при годівлі свиней комбікормами з рівномірним гранулометричним складом затрати корму знижуються на 5...7%, що складає в енергетичному перерахунку економію до 100...120 кВт·год на тону виготовлених комбікормів. У зв'язку з відсутністю фактора перетирання в технологічному процесі вихід пиловидної фракції зводиться до мінімуму. Вальцеві дробарки добре переробляють сухе зерно, яке не відзначається високими в'язко-пластичними властивостями. Ці машини зручні та надійні в експлуатації. Робочі органи досить довговічні – відновлення рифлів на вальцях проводять один раз на 1,5-2 роки.

Враховуючи істотні переваги вальцьових дробарок зерна порівняно з іншими типами подрібнювачів, на нашу думку доцільно приділяти більшу увагу розробці саме таких засобів для подрібнення зернових кормів.

### Список використаних джерел

1. Myhailovych Y., Potapova S., Achkevych O., Achkevych V. Increasing efficiency of grinding process in single-roller grain mill. "Engineering for Rural Development". Volume 20. Jelgava, Latvia University of Agriculture. 2021. Pp. 712-717. doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF156
2. Revenko I., Khmelovskyi V., Revenko Y., Rebenko V., Potapova S. Justification of parameters affecting increase of hammer crusher productivity. "Engineering for Rural Development". Volume 22. Jelgava, Latvia University of Agriculture. 2023. Pp. 714-720. doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF142
3. Машины та обладнання для тваринництва. Навчальний посібник /В.С. Хмельовський, В.В. Братішко, В.І. Ребенко, О.О. Заболотько, С.Є. Потапова, О.М. Ачкєвич, В.І. Ачкєвич, М.І. Ікальчик. Київ: Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2024. – 235 с.

УДК 331.45 (075.8)

### УМОВИ ПРАЦІ ТА РИЗИКИ ТРАВМАТИЗМУ ПРАЦІВНИКІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Є. І. МАРЧИШИНА**, доцент, к. с. г. наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [marchyshyna@nubip.edu.ua](mailto:marchyshyna@nubip.edu.ua)*

Умови праці працівників машинобудування формуються під впливом складних виробничих процесів, що поєднують механічну обробку металу, зварювання, лиття, складання, випробування та обслуговування обладнання. Галузь охоплює великі промислові підприємства, конструкторські бюро, ремонтні підрозділи, а також високотехнологічні виробництва, пов'язані з автоматизацією та роботизацією. Незважаючи на технічний прогрес, умови праці в машинобудуванні часто залишаються напруженими та потенційно небезпечними через вплив фізичних, хімічних, психофізіологічних і організаційних факторів.

Однією з ключових особливостей праці є постійний контакт із потужним виробничим обладнанням: токарними, фрезерними, свердлильними верстатами, пресами, підйомно-транспортними механізмами. Робота поблизу рухомих частин машин створює ризик механічних травм, таких як порізи, удари, защемлення, переломи та ампутації. Нерідко травматизм пов'язаний із порушенням правил техніки безпеки, відсутністю захисних огорожень або використанням застарілого обладнання. Висока швидкість обертання деталей і інструментів підвищує небезпеку навіть при короткочасній втраті концентрації.

Важливим чинником є вплив фізичних навантажень. Працівники часто виконують роботу в умовах підвищеного шуму, вібрації та запиленості. Рівень шуму на окремих ділянках може перевищувати допустимі норми, що негативно впливає на слух і нервову систему. Тривалий вплив вібрації спричиняє розвиток професійних захворювань опорно-рухового апарату та судинної системи. Крім того, піднімання та переміщення важких деталей без належних допоміжних засобів призводить до перевантаження хребта, розвитку остеохондрозу та інших хронічних захворювань.

Хімічні фактори також відіграють значну роль у формуванні ризиків. У процесі зварювання та термічної обробки виділяються шкідливі гази й аерозолі металів, які можуть спричиняти захворювання дихальної системи. Контакт із мастильно-охолоджувальними рідинами, фарбами, розчинниками та іншими хімічними речовинами підвищує ризик алергічних реакцій і дерматитів. Недостатня вентиляція виробничих приміщень погіршує мікроклімат і сприяє накопиченню шкідливих речовин у повітрі.

Суттєвим аспектом є організаційні умови праці. Нерівномірний розподіл навантаження, робота у змінному режимі, дефіцит часу для виконання виробничих завдань створюють психоемоційне напруження. Втома знижує увагу та швидкість реакції, що безпосередньо впливає на ймовірність нещасних випадків. Особливо небезпечними є ситуації, коли працівники змушені виконувати кілька операцій одночасно або працювати понаднормово без належного відпочинку.

Окрему увагу слід приділити рівню підготовки персоналу. Недостатній інструктаж, формальний підхід до навчання з охорони праці та нехтування засобами індивідуального захисту підвищують ризик травматизму. Наявність касок, захисних окулярів, рукавиць, спеціального одягу та взуття суттєво знижує тяжкість можливих ушкоджень, однак ефективність цих заходів залежить від дисципліни та контролю з боку керівництва.

Зниження рівня травматизму в машинобудуванні потребує комплексного підходу. Важливими є модернізація обладнання, впровадження автоматизованих систем контролю, поліпшення вентиляції та освітлення, регулярне проведення медичних оглядів і навчання працівників. Не менш значущою є формування культури безпеки, за якої кожен працівник усвідомлює відповідальність за власне здоров'я та безпеку колег. Лише поєднання технічних, організаційних і освітніх заходів дозволить створити безпечні та здорові умови праці в галузі машинобудування та мінімізувати ризики виробничого травматизму.

### **Список використаних джерел**

1. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.
2. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.

УДК 631.3:636

## ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОІЛЬНОГО АПАРАТА

**Н. РАПАВИЙ**, студент, **В. І. РЕБЕНКО**, к.т.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

### *Важливість догляду за доїльним апаратом*

Доїльний апарат, безперечно, є найважливішим обладнанням на вашій молочній фермі – саме він збирає все молоко, яке ви продаєте. Це також єдина техніка, яка щодня безпосередньо контактує з вим'ями корів.

Це створює високий ризик поширення бактерій, що викликають мастит, від корови до корови. Більше того, якщо ваш доїльний апарат не працює належним чином, він може пошкодити кровоносні судини в вимені та викликати гіперкератоз на кінці дійки. Це обмежує природні захисні сили корови проти маститу.

З цих причин ваш доїльний апарат повинен регулярно обслуговуватися та ремонтуватися. Доїльні зали потребують невеликого обслуговування кожні 750 годин роботи та більш серйозного обслуговування кожні 1500 годин роботи.

### *Як працюють доїльні апарати*

Доїльний апарат використовує вакуум для видоїння молока з дійок. До захватної частини прикріплено чотири дійові стакани (що складаються з оболонок та вкладишів). Чергування надходження повітря під атмосферним тиском і під вакуумом у пульсаційну камеру між оболонкою і вкладишем призводить до відкриття і закриття вкладиша.

Коли рівень вакууму між вкладишем і оболонкою перевищує вакуум під соском, вкладиш відкривається і молоко тече. Коли пульсаційна камера містить повітря під атмосферним тиском, вакуум під соском призводить до стискання вкладиша, масажуючи сосок і пом'якшуючи негативні ефекти вакууму.

### *Гіперкератоз і проблеми з доїльним апаратом*

Гіперкератоз – це потовщення шкіри на кінці дійки. Воно викликане надмірним ростом кератину, що вистилає канал дійки. Існує багато можливих причин, серед яких:

- Невідповідний рівень вакууму
- Надмірне доїння
- Недостатня пульсація
- Надмірне стискання вкладиша
- Форма дійки

Гіперкератоз збільшує ризик нових інфекцій, тому важливо з'ясувати, що його спричиняє, і відремонтувати машину. Інші зміни стану дійки наприкінці доїння, такі як зміна кольору, набряк, кільцеподібне або клиноподібне здуття, також є надійними ознаками того, що в системі доїння може бути проблема.

Правильне положення доїльного апарату, належна підтримка трубок і



добре контрольовані корови допомагають забезпечити рівномірне доїння. Нерівномірне або неповне доїння є ознаками поганої роботи доїльного апарата.

#### *Перевірка доїльної машини*

Щоб переконатися, що доїльний апарат працює ефективно і не пошкоджує дійки корів, включіть ці регулярні щоденні, щотижневі та щомісячні перевірки в управління молочною фермою.

#### **Щоденні перевірки**

##### *Перевірка рівня вакууму*

Дійки можуть бути пошкоджені, якщо вакуум не відповідає необхідному рівню. Він повинен бути:

- Низький рівень – 40–44 кПа
- Високий рівень – 44–48 кПа

Ви також повинні чути, як регулятор вакууму відкривається і закривається, коли приєднується кластер.

##### *Слухайте пульсатори*

Пульсація повинна бути регулярною. Слухайте пульсатор і перевіряйте апарат, якщо пульсації не синхронізовані.

##### *Перевірте, чи не заблоковані отвори для впуску повітря*

Отвори для впуску повітря в стакан повинні бути розблоковані. В іншому випадку молоко буде виводитися зі стакану повільніше, що призведе до великих коливань вакууму. Може статися зісковзування вкладишів, і в них залишиться молоко, коли кластер буде знятий. Розблокуйте отвори для впуску повітря за допомогою відповідного інструменту.

##### *Перевірте соски, коли знімають чашки*

Перевіряйте соски корів під час зняття кластерів. Якщо вони змінюють колір (стають червоними або синіми, набряклими або з кільцями), це може свідчити про такі проблеми, як високий вакуум, погана пульсація, надмірне доїння або неправильний вибір насадок. Вам слід це перевірити.

##### *Перевіряйте поведінку корів*

Спостерігайте за коровами під час доїння. Якщо вони неспокійні, це може свідчити про проблеми з доїльним апаратом.

#### **Щотижневі перевірки**

##### *Перевірте, чи не перекручені вкладиші*

Переконайтеся, що маркування вкладишів на ковпаку та короткій молочної трубці збігаються.

##### *Перевірте фільтри на повітряних лініях пульсатора*

Підтримуйте фільтр на повітряній лінії пульсатора в чистоті та переконайтеся, що характеристики пульсації задовільні.

##### *Прислухайтеся до регулятора*

Під час доїння переконайтеся, що регулятор пропускає повітря; ви повинні чути шиплячий звук. Об'єм повітря повинен зменшуватися, коли приєднуються кластери.

##### *Перевірка стану вкладишів*

Вкладиші слід міняти кожні 2500 доїнь або кожні шість місяців, залежно від того, що настане раніше. Термін служби силіконових вкладишів становить близько 8000 доїнь корів.

*Примітка:* Вкладиші повинні бути в хорошому стані, оскільки вони є єдиною частиною машини, яка безпосередньо контактує з ділянками корів. Коли вони зношуються, вони втрачають форму і не масажують дійки належним чином, що призводить до подовження часу доїння та зниження надоїв. Зношені насадки також є джерелом бактерій, зокрема термостійких бактерій (див. наш посібник з управління термостійкими бактеріями), оскільки вони ховаються в тріщинах насадки.

#### *Перевірте зливні клапани на повітряних лініях пульсатора*

Зливний клапан на повітряній лінії повинен бути відкритий, коли доїльна машина припинила роботу. Будь-яке молоко або вода, що витікає з цієї повітряної лінії після доїння, свідчить про тріщину в насадці або пульсаційній трубці.

#### *Перевірте рівень масла у вакуумному насосі*

Масло у вакуумному насосі утворює ущільнення між ротором і рамою двигуна, щоб запобігти витоку повітря/вакууму.

#### **Щомісячні перевірки**

##### *Перевірка ефективного резерву*

Ви можете перевірити ефективний резерв, закривши кнопки на всіх частинах захвату, а потім відкривши лише одну. Якщо вакуумметр показує падіння більше ніж на 2 кПа, ефективний резерв є недостатнім. Цей тест застосовується для установок з 16 до 32 одиниць.

Якщо є більше ніж 32 одиниці, відкрийте дві одиниці та знову перевірте вакуумметр.

##### *Перевірка часу доїння*

«Час доїння» — це час, необхідний для доїння однієї корови. Він залежить від надоїв корови, але від початку доїння до його закінчення зазвичай становить від 5 до 7 хвилин.

##### *Перевірка ковзання насадки*

Під час одного доїння записуйте кількість ковзань насадки або скрипів, які необхідно виправити дояру. П'ять або менше випадків на 100 корів є прийнятним, тоді як 10 або більше випадків на 100 корів вимагають розслідування.

##### *Тестування доїльного апарата*

Регулярне обслуговування та технічне обслуговування доїльного апарата забезпечує його ефективну та надійну роботу. Це також допомагає зменшити ризик виникнення несправностей та незручних поломок.

Правильний рівень вакууму, частота пульсації та співвідношення є необхідними для ефективного зняття молока без пошкодження дійок або вимені. Ви можете перевірити це, виконавши статичне тестування доїльної машини.

Це обслуговування повинно включати:

- Статичний моніторинг рівня вакууму в системі
- Роботу пульсації
- Ефективний запас вакууму
- Витік вакууму
- Потужність вакуумного насоса

Обслуговування, ймовірно, включатиме сервісні набори для пульсаторів, лічильників молока, молочних і вакуумних насосів. Ви також повинні організувати тестування, якщо помітите будь-які відхилення від норми. Спостереження за станом дійок (кінчиками та кольором) і поведінкою корів під час доїння дасть вам багато інформації про те, як працює доїльна машина.

*Як часто слід проводити технічне обслуговування доїльного апарату?*

Доїльна зала зазвичай потребує проміжного технічного обслуговування після 750 годин роботи та більш серйозного технічного обслуговування після 1500 годин. Стадо з 250 коровами, яке доїться сім годин на день, потребує капітального технічного обслуговування кожні 215 днів.

Статичне та динамічне випробування доїльної машини повинно проводитися принаймні двічі на рік незалежним, відповідним чином кваліфікованим техніком відповідно до останніх стандартів, що стосуються машини або дати встановлення (наразі ISO6690:2007).

**УДК 331.45 (075.8)**

## **ПРОФЕСІЙНЕ ВИГОРЯННЯ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ ЗВО**

**Є. І. МАРЧИШИНА**, доцент, к. с. г. н., **Т. О. БІЛЬКО**, доцент, к. б. н.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [marchyshyna@nubip.edu.ua](mailto:marchyshyna@nubip.edu.ua)*

Професійне вигоряння науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти набуває особливої актуальності в умовах зростання навчальних навантажень, підвищених академічних вимог та постійних викликів, пов'язаних із цифровізацією освітнього процесу.

ВООЗ виділяє три основні симптоми емоційного вигорання: • почуття виснаження або втоми (порушення сну, зниження імунітету, проблеми із концентрацією уваги); • інтелектуальна та емоційна дистанція з роботою (відчуття негативу та цинізму відносно ситуацій, пов'язаних із роботою, відірваність від колективу, відсутність мотивації, негативне сприйняття реальності); • зниження професійної ефективності (відчуття неспроможності

справитися зі своїми робочими обов'язками, внаслідок цього з'являються сумніви у власних здібностях і компетентності).

Психологічні аспекти цього явища охоплюють широкий спектр проявів, що формуються під впливом тривалого стресу, емоційного виснаження та зниження можливостей саморегуляції. Однією з ключових причин вигорання є надмірна емоційна включеність у навчально-виховну взаємодію, адже викладацька діяльність передбачає безперервний контакт зі студентами, вирішення їхніх навчальних і соціальних труднощів, а також необхідність підтримувати високий рівень професійної компетенції. Відсутність чітких меж між роботою і приватним життям, поширена в умовах дистанційного навчання, поглиблює стан перевантаження та знижує ресурсність особистості.

Психологічні механізми формування вигорання у працівників ЗВО пов'язані з хронічним стресом, що призводить до виснаження нервової системи, порушення процесів емоційної регуляції та зниження мотивації. З'являються ознаки деперсоналізації, коли викладач починає сприймати студентів і колег відсторонено, втрачаючи здатність до емпатії. Це супроводжується професійною апатією, зменшенням задоволення від досягнень і поступовим руйнуванням внутрішніх смислів педагогічної діяльності. Особливу роль відіграє когнітивне перевантаження, пов'язане з постійним аналізом великої кількості інформації, підготовкою навчальних матеріалів, науковою роботою та вимогами до публікаційної активності. За відсутності повноцінного психологічного відновлення та ефективних стратегій подолання стресу такі фактори формують стійкі ознаки емоційного виснаження.

Важливою складовою психологічних аспектів вигорання є внутрішні очікування і перфекціонізм, які часто властиві науково-педагогічним працівникам. Прагнення до високих стандартів і страх невідповідності вимогам наукової спільноти створюють підґрунтя для хронічного почуття тривоги. Нерідко викладачі перебільшують власну відповідальність за навчальні результати студентів, що посилює почуття провини та самокритику. У поєднанні з обмеженими можливостями для соціальної підтримки та недостатньою культурою турботи про психічне здоров'я в освітньому середовищі ці чинники сприяють формуванню внутрішнього конфлікту між професійними обов'язками та особистими потребами.

Соціально-психологічні умови функціонування закладів вищої освіти також відіграють значну роль. Адміністративний тиск, бюрократичні вимоги, участь у численних звітних процедурах і проєктах знижують можливості для творчої та наукової самореалізації. Нестача зворотного зв'язку, нерівномірний розподіл навантаження та недостатня підтримка з боку керівництва негативно впливають на суб'єктивне відчуття професійної значущості. Сучасні трансформації освітнього середовища, необхідність швидко адаптуватися до нових технологій та форматів навчання створюють додатковий стресовий фон, який ускладнює психологічну рівновагу викладачів.

Профілактика професійного вигорання потребує створення умов для збереження психоемоційного здоров'я науково-педагогічних працівників. Одним із ключових напрямів є формування культури психологічної підтримки у колективі, що передбачає відкриту комунікацію, обмін досвідом, взаємодопомогу та підтримку професійного розвитку. Ефективними є програми підвищення стресостійкості, тренінги з емоційної регуляції та самоменеджменту, а також створення можливостей для балансування професійного навантаження. Важливим аспектом є розвиток навичок усвідомленості, що дозволяють підвищити здатність до самоспостереження і своєчасного розпізнавання ознак виснаження.

Психологічні аспекти професійного вигорання науково-педагогічних працівників потребують комплексного вивчення та системної підтримки на рівні освітніх інституцій. Розуміння механізмів цього явища дозволяє розробити ефективні стратегії профілактики та створити умови, за яких викладачі зможуть зберігати мотивацію, професійну активність та емоційний баланс. Інвестиції у психічне здоров'я науково-педагогічних працівників є важливим чинником забезпечення якості освіти, сталого розвитку університетів та формування здорового академічного середовища.

#### **Список використаних джерел**

1. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.
2. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.

**УДК 678.041**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСУВАЛЬНОГО ВУЗЛА ПЛОСКО-МАТРИЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА БІОМАСИ**

**О. І. ЄРЕМЕНКО**, к.т.н., доцент; **С. І. ФОМІН**, здобувач;  
**Н. О. КРИВОРУЧКО**, здобувач

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: eremolex@nubip.edu.ua*

Матриці грануляторів для отримання біопаливних гранул (пелет) можуть бути за формою кільцевими або плоскими горизонтальними. Пресувальні вузли оснащені рифленими роликами, призначення яких полягає в утворенні контактного ущільнення біомаси на поверхні матриці. Ролики попередньо стискають біомасу і проштовхують у філь'єри (технологічні канали) матриці



під високим тиском 60-100 МПа. В кінці каналів біомаса набуває щільності 0,9-1,2 т/м<sup>3</sup> і переходить у стан монолітних виробів – гранул (рис. 1) [1, 2].

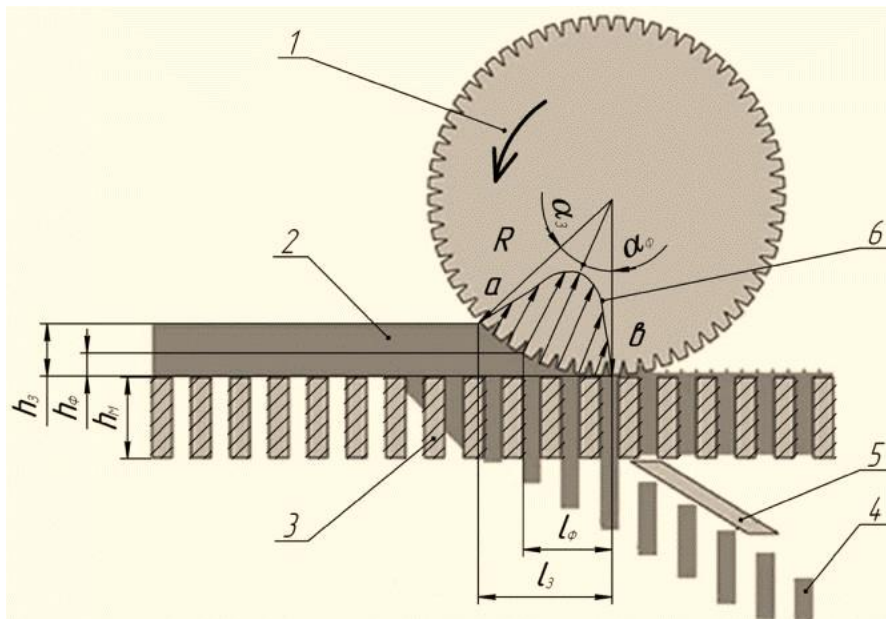


Рис. 1. Схема процесу утворення гранул системою «плоска матриця-ролик»: 1 - ролик; 2 – шар біомаси; 3- матриця; 4 - гранули; 5 - ніж; 6 – епіюра напруження в клиновому зазорі між матрицею та роликом

Гранулятори з плоскою матрицею мають відносно просту конструкцію, зручність обслуговування, високу зносостійкість. В матрицях канали виконують як з постійним, так і зі змінним поперечним перетином. Дослідження [2-4] свідчать, що застосування каналів змінного профілю та підтримання високої температури до 90°C самої матриці, як результат інтенсивного тертя ущільненої біомаси в каналах, дозволяють більш ефективно змінити реологічні властивості органічної сировини до пластичного стану і знизити енерговитрати процесу гранулювання в цілому [3, 4].

Для проведення аналітичних досліджень була розроблена методика розрахунку параметрів пресувального вузла плоско-матричного гранулятора. За результатами сформульовані розрахункові вирази таких показників: діаметр і площа робочої поверхні матриці; число каналів у матриці; площа входньої частини каналу; радіус і довжина пресувального ролика; кутова швидкість обертання роликів; нормальне напруження у входній частині каналу; споживча потужність привода пресувального вузла гранулятора.

Продуктивність  $Q_{гр}$  гранулятора (т/год) визначається за такою формулою:

$$Q_{гр} = 120 \cdot \pi \cdot z \cdot n_{max} \cdot \rho_{нас} \cdot R_p \cdot \sin^2(\alpha_\phi/2) \cdot C_m, \quad (1)$$

де  $z$  – кількість пресувальних роликів (зазвичай  $z=2$ );  $n_{max}$  – гранична швидкість обертання приводного вала, об/хв;  $\rho_{нас}$  – насипна щільність біомаси, кг/м<sup>3</sup>;  $R_p$  – радіус ролика, м;  $\alpha_\phi$  – кут формувань біомаси у вхідній частині каналу ( $\alpha_\phi \approx 2^\circ$ );  $C_m$  – коефіцієнт, що враховує реологічні характеристики біомаси.

За результатами подальшого системного аналізу отриманих розрахунків процесу, що досліджувався, висунуті пропозиції удосконалення пресувального вузла плоско-матричного гранулятора (рис. 2):

- враховуючи те, що недоліком прототипу є відносно невелика продуктивність, яка становить 150-300 кг/год, передбачаємо встановлення кількості пресувальних роликів - чотири штуки замість двох;

- для зменшення опору проходження біомаси крізь канали матриці розроблена модель філь'єри з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола у поперечному перетині [4]. Тому привод пресувального вузла залишається незмінним;

- у пресувальному вузлу передбачаємо встановлення пристрою дистанційного автоматичного управління з постійним зазором роликів.



Рис. 2. Загальний вигляд удосконаленого пресувального механізму

Таким чином, результати розрахунків і проведений порівняльний аналіз дозволили обґрунтувати основні техніко-технологічні параметри пресувального вузла плоско-матричного гранулятора. Отримані результати свідчать, що пропозиції техніко-технологічного удосконалення пресового вузла та елементів привода прес-гранулятора відповідають вимогам нормативної документації.

### Список використаних джерел

1. Гелетука Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Потенціал та перспективи енергетичного використання агробіомаси в Україні. Теплофізика

та теплоенергетика: т. 42, № 1, 2020, с. 42-51.

2. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних пелет і брикетів: монографія. Київ: НУБіП України, 2021. 248 с.

3. Олексієнко В.О., Фучаджи Н.О., Червоткіна О.О. Дослідження процесу гранулювання відходів на роторних пресах з плоскою матрицею. Праці ТДАТУ. Вип.15, т.1. Мелітополь: Таврійський ДАТУ, 2015. С. 234-239.

4. Єременко О., Халін С., Майданович В. Модифікація вхідної частини філ'єри матриці твердопаливного гранулятора. Зб. наук. праць Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для с.-г. України. Дослідницьке: 2024. Вип. 35(49). С. 39-47. [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-2-35\(49\)-4](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-2-35(49)-4)

**УДК 331.45 (075.8)**

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТРАКТОРИСТІВ ВІД НАДМІРНОГО ВПЛИВУ ВИРОБНИЧОЇ ВІБРАЦІЇ**

**Є. І. МАРЧИШИНА**, доцент, к. с. г. наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

[marchyshyna@nubip.edu.ua](mailto:marchyshyna@nubip.edu.ua)

Захист трактористів від надмірного впливу вібрації є актуальною міждисциплінарною проблемою на перетині охорони праці, інженерії сільськогосподарської техніки та медицини праці. Робота на сучасних тракторах супроводжується впливом загальної та локальної вібрації, що передається через сидіння, підлогу кабіни, рульове колесо та органи керування. Тривала дія вібраційних навантажень призводить до розвитку професійних захворювань, зокрема вібраційної хвороби, остеохондрозу хребта, порушень периферичного кровообігу, зниження чутливості та працездатності. За класифікацією Міжнародної організації праці, вібрація належить до шкідливих виробничих факторів, що потребують системного контролю та нормування.

Основними джерелами вібрації під час роботи тракториста є двигун внутрішнього згоряння, трансмісія, ходова частина, нерівності ґрунтового покриття та агреговані сільськогосподарські машини. Характер вібраційного впливу визначається амплітудою, частотою та тривалістю дії. Особливо небезпечними є коливання в діапазоні резонансних частот тіла людини, що спричиняють підвищене навантаження на опорно-руховий апарат і внутрішні органи. Дослідження свідчать, що систематичний вплив вібрації понад гранично допустимі рівні зумовлює кумулятивний ефект і прискорює розвиток хронічних патологій.

Сучасні підходи до захисту трактористів передбачають комплекс технічних, організаційних та медико-профілактичних заходів. Технічні рішення включають удосконалення конструкції кабін із застосуванням вібропоглинальних матеріалів, використання підресорених і пневматичних сидінь із регульованими амортизаторами, балансування обертових частин двигуна, оптимізацію підвіски та шин низького тиску. Важливим є впровадження систем активної та напівактивної підвіски кабіни, які автоматично адаптуються до умов експлуатації та зменшують передачу коливань на робоче місце оператора. Ергономічне проектування органів керування дозволяє мінімізувати локальну вібрацію, що передається на руки.

Організаційні заходи передбачають регламентування тривалості безперервної роботи, чергування видів діяльності, проведення інструктажів і навчання з питань безпечної експлуатації техніки. Раціональний режим праці та відпочинку сприяє зниженню функціонального напруження організму та профілактиці перевтоми. Регулярний технічний огляд і своєчасне обслуговування тракторів є необхідною умовою підтримання допустимого рівня вібрації. Значну роль відіграє контроль параметрів вібрації за допомогою сертифікованих вимірювальних приладів і порівняння отриманих показників із чинними санітарними нормами.

Медико-профілактичні заходи включають попередні та періодичні медичні огляди, ранню діагностику функціональних змін, фізіотерапевтичні процедури та лікувальну фізкультуру. Підвищення обізнаності працівників щодо ризиків вібраційного впливу сприяє формуванню культури безпеки праці. Перспективним напрямом є використання цифрових технологій моніторингу стану здоров'я операторів і впровадження систем дистанційної діагностики технічного стану машин.

Отже, ефективний захист трактористів від надмірного впливу вібрації можливий лише за умови комплексного підходу, що поєднує інженерні інновації, організаційні рішення та медичний супровід. Зниження рівня вібраційного навантаження сприятиме збереженню здоров'я працівників, підвищенню продуктивності праці та сталому розвитку аграрного сектору.

### **Список використаних джерел**

1. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К. Центр учбової літератури. 2017. 691 с.
2. Войналович О.В., Марчишина Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці у галузі (автомобільний транспорт). К. Центр учбової літератури. 2018. 695 с.

## **Секція 5 «Конструювання машин і обладнання»**



УДК 621.87

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

**А. В. МАТЮШЕНКО**, студент магістратури.  
**В. С. ЛОВЕЙКІН**, д.т.н., проф., **А. П. ЛЯШКО**, к.т.н., доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

При роботі скребкових конвеєрів в елементах тягового органу виникають значні динамічні навантаження, що приводить до передчасного руйнування скребків і тягового органу. При цьому досить часто з перевантаженнями працює приводний електродвигун, тому виникає потреба в проведенні динамічного аналізу руху скребкового конвеєра. Для проведення динамічних досліджень розроблено математичну модель скребкового конвеєра, яка представляється системою диференціальних рівнянь, які мають вигляд:

$$\begin{cases} J_{п1} \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_{п1} - C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \\ J_{п2} \cdot \ddot{\varphi}_2 = -M_{п2} + C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \end{cases}$$

де  $J_{п1}, J_{п2}$  – моменти інерції першої та другої зведених мас динамічної моделі скребкового конвеєра;  $M_{п1}, M_{п2}$  – зведені до осі приводної зірочки рушійний момент приводу та момент сил опору, що діють на робочу гілку конвеєра;  $C_n$  – коефіцієнт жорсткості тягового органу конвеєра, зведений до осі приводної зірочки;  $\varphi_1, \varphi_2$  – узагальнені координати першої та другої зведених мас динамічної моделі конвеєра.

В результаті розв'язування системи рівнянь (1) з використанням комп'ютерної програми, розраховані кінематичні та динамічні характеристики руху скребкового конвеєра при транспортуванні зерна. На рис.1 наведено графік зміни прискорення ротора електродвигуна.

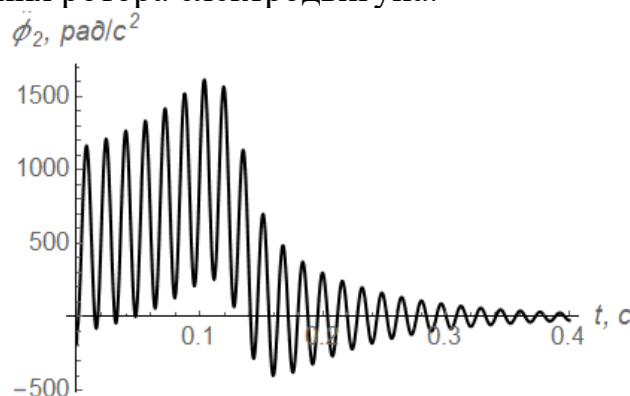


Рис.1. Графік зміни кутового прискорення приводного електродвигуна

З рис.1 встановлено, що процес пуску приводного електродвигуна здійснюється з коливаннями ротора при максимальному значенні прискорення 1520 рад/с<sup>2</sup>. Разом з тим ці коливання за час 0,4 с практично повністю затухають.

УДК 681.513.5:621.873

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА В ОБМЕЖЕНОМУ РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ

Ю. О. РОМАСЕВИЧ, д.т.н, професор

Д. І. ВЕЛИКОІВАНЕНКО, аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У роботі розглянуто задачу планування оптимальної траєкторії переміщення вантажу баштовим краном у робочому просторі з геометричними перешкодами. Метою дослідження є формування коректної математичної постановки задачі, яка враховувала б динаміку системи, обмеження робочого простору та вимоги до оптимальності руху.

Задачу було сформульовано на основі динамічної моделі баштового крана з вантажем (рис. 1), закріпленим на гнучкому підвісі. Для опису руху системи було введено чотири узагальнені координати:  $z$  – координата візка, що переміщується уздовж стріли;  $\rho$  – координата вантажу уздовж осі стріли;  $\varphi$  – кутова координата повороту стріли відносно вертикальної осі;  $\psi$  – кутова координата маятникових коливань вантажу, в напрямку перпендикулярному до площини стріли.

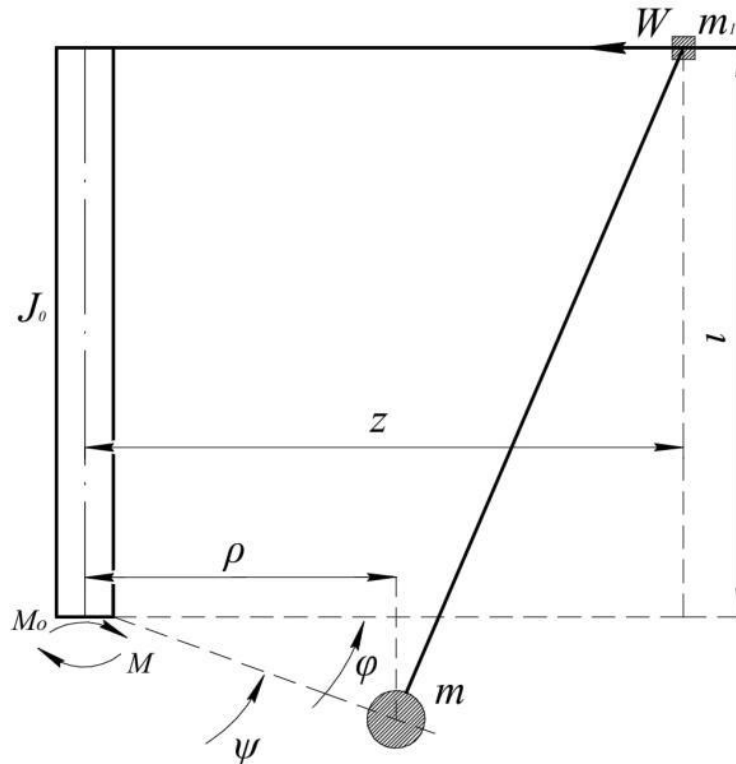


Рисунок 1 – Динамічна модель баштового крана

Математична модель руху вантажу, механізмів повороту крана та переміщення візка була подана у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Вона враховувала масу вантажу  $m$ , довжину гнучкого підвісу  $l$ , зведений момент інерції башти  $J$ , а також гравітаційні сили та сили і моменти опору. Загальний вигляд системи рівнянь описував динамічну взаємодію між переміщенням візка, поворотом стріли та маятниковими коливаннями вантажу, що дозволяло адекватно відобразити реальний характер руху системи.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z} - m_1 z \dot{\varphi}^2 = F - \frac{mg}{l} \left( z - \rho \left( 1 - \frac{(\varphi - \psi)^2}{2} \right) - W \operatorname{sgn}(\dot{z}) \right); \\ \ddot{\rho} - \rho \dot{\psi}^2 = -\frac{g}{l} \left( \rho - z \left( 1 - \frac{(\varphi - \psi)^2}{2} \right) \right); \\ (J_0 + m_1 z^2) \ddot{\varphi} + 2m_1 z \dot{z} \dot{\varphi} = M - \frac{mg}{l} \rho z (\varphi - \psi) - M_0 \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}); \\ \rho \ddot{\psi} + 2\dot{\rho} \dot{\psi} = \frac{g}{l} z (\varphi - \psi), \end{cases} \quad (1)$$

Модель простору із перешкодами, в якій переміщується вантаж (рис. 2) включає наступні позначення:  $p(0)=(x_0; y_0)$ ,  $p(T)=(x_T; y_T)$  – початкові та кінцеві точки траєкторії руху вантажу;  $O_1, O_2, O_3$  – перешкоди, які необхідно уникнути вантажу;  $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$  – межі допустимого простору переміщення вантажу по осі  $x$  та  $y$  відповідно.

Робочий простір переміщення вантажу було змодельовано у вигляді обмеженої області:

$$D = [x_{\min}, x_{\max}] \times [y_{\min}, y_{\max}], \quad (2)$$

у межах якої траєкторія руху вантажу  $p(t)$  повинна була задовольняти умову:

$$p(t) \in D, \forall t \in [0, T]. \quad (3)$$

Перешкоди робочої зони було змодельовано множиною об'єктів:

$$O = \{O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_l\}, \quad (4)$$

кожен з яких описувався як прямокутна область на декартовій площині. Для кожної перешкоди вводилася умова заборони перебування траєкторії вантажу всередині відповідної області:

$$p(t) \notin O_i, \forall i = 1, \dots, l, \forall t \in [0, T]. \quad (5)$$

У постановці задачі також було враховано кінематичні обмеження на швидкості руху елементів системи:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \dot{z}(t) \leq \dot{z}_{\max}; \\ 0 &\leq \dot{\varphi}(t) \leq \dot{\varphi}_{\max}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\dot{z}_{\max}$  та  $\dot{\varphi}_{\max}$  – максимально допустимі значення швидкості руху візка та повороту стріли відповідно.

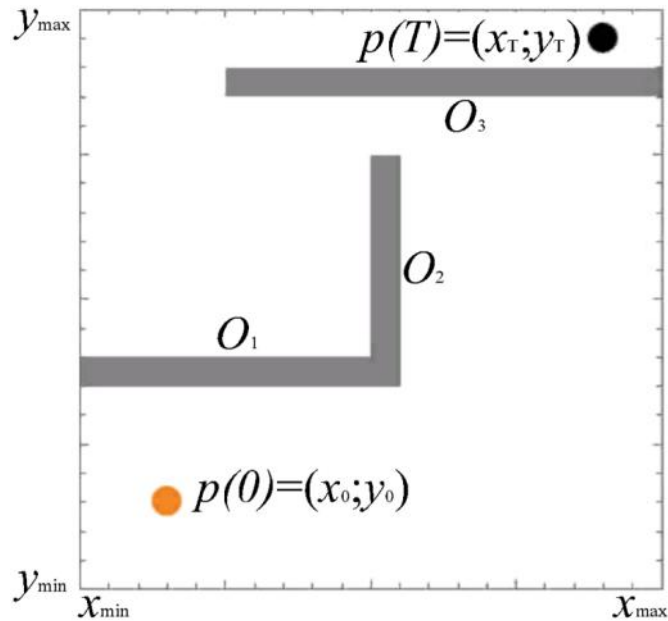


Рисунок 2 – Приклад моделі простору із перешкодами, в якій переміщується вантаж

Необхідною складовою постановки задачі стали крайові умови, які визначали початкові та кінцеві положення і швидкості узагальнених координат системи. Крім того, було введено рівняння зв'язку, що узгоджували декартові координати траєкторії руху вантажу з узагальненими координатами  $\rho$  та  $\psi$ .

Як критерій оптимізації було обрано мінімізацію довжини траєкторії переміщення вантажу:

$$L(p(t)) = \int_0^T \|\dot{p}(t)\| dt \rightarrow \min. \quad (7)$$

Застосування такого критерію дозволяло отримати найкоротшу траєкторію між заданими початковою та кінцевою точками за умови дотримання всіх геометричних, кінематичних та крайових обмежень.

Таким чином, задачу планування траєкторії переміщення вантажу баштовим краном було зведено до задачі оптимального керування з нелінійною динамікою та жорсткими обмеженнями. Сформульована постановка створювала теоретичну основу для подальшого застосування методів планування та оптимізації траєкторій у складному робочому просторі з перешкодами.

УДК 621.87

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КОВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

Є. Л. ЦИСЬ, студент магістратури  
В. С. ЛОВЕЙКІН, д.т.н., проф., А. П. ЛЯШКО, к.т.н., доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для дослідження динамічних властивостей ковшового елеватора при транспортуванні зерна побудовано динамічну модель, яка складається з двох обертальних мас, які з'єднані між собою пружним елементом. В цій моделі перша маса відображає приводний механізм з приводним барабаном, а друга маса моделює тяговий орган з наповненими зерном ківшами та натяжним барабаном. Обидві маси динамічної моделі зведені до приводного барабану. Для такої динамічної моделі розроблено математичну модель, яка представлена системою з двох диференціальних рівнянь другого порядку

$$\begin{cases} J_{п1} \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_{п1} - C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \\ J_{п2} \cdot \ddot{\varphi}_2 = -M_{п2} + C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \end{cases}$$

де  $J_{п1}, J_{п2}$  – моменти інерції першої та другої зведених мас;  $M_{п1}, M_{п2}$  – зведені до осі приводного барабану рушійний момент приводу та момент сил опору, що діють на робочу гілку елеватора;  $C_n$  – коефіцієнт жорсткості тягового органу елеватора, зведений до осі приводного барабану;  $\varphi_1, \varphi_2$  – узагальнені координати першої та другої зведених мас динамічної моделі порядку. Для розв'язування такої системи рівнянь складено комп'ютерну програму, за допомогою якої розраховані кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики руху гвинтового конвеєра. На рис.1 показано графічну залежність

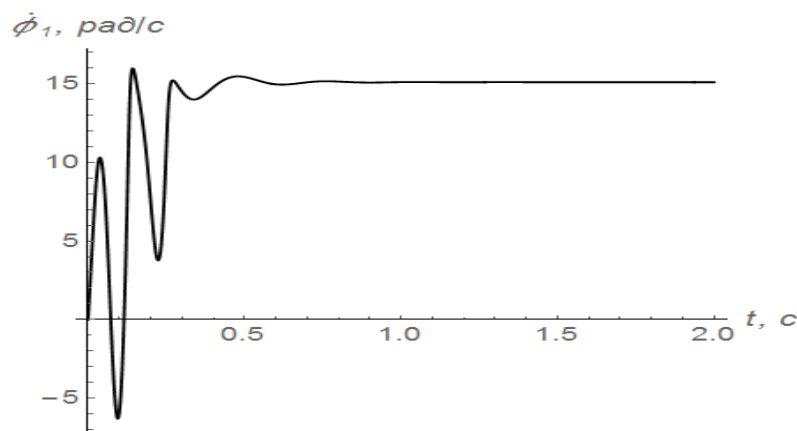


Рис.1. Графік зміни кутової швидкості приводного барабану



З рис.1 можна бачити, що, що процес пуску приводного барабану змінюється в коливальному режимі. Однак ці коливання тривають незначний проміжок часу, який складає трохи більше 0,5 с.

УДК 514.18

## ПОБУДОВА НАБЛИЖЕНОЇ РОЗГОРТКИ ГВИНТОПОДІБНОГО НОЖА

**С. Ф. ПИЛИПАКА**, д.т.н., проф.,

**А. В. НЕСВІДОМІН**, докторант,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: s.pylypaka@nubip.edu.ua*

Різальна кромка гвинтоподібного ножа, тобто його лезо, є гвинтовою лінією великого кроку. Оскільки поверхня ножа є нерозгортною, то точної плоскої заготовки для його виготовлення не існує. В такому випадку шукають наближену розгортку, яка б забезпечила мінімум пластичних деформацій при формуванні із неї ножа. Для гвинтових поверхонь сталого кроку наближеною розгорткою є плоске кільце. Задача полягає в знаходженні зовнішнього і внутрішнього обмежувальних кіл, а центрального кута, в межах якого розташована потрібна частина кільця.

Аналіз поверхні ножа показав, що він є прямим відкритим гелікоїдом, який відноситься до нерозгортних поверхонь (рис. 1).

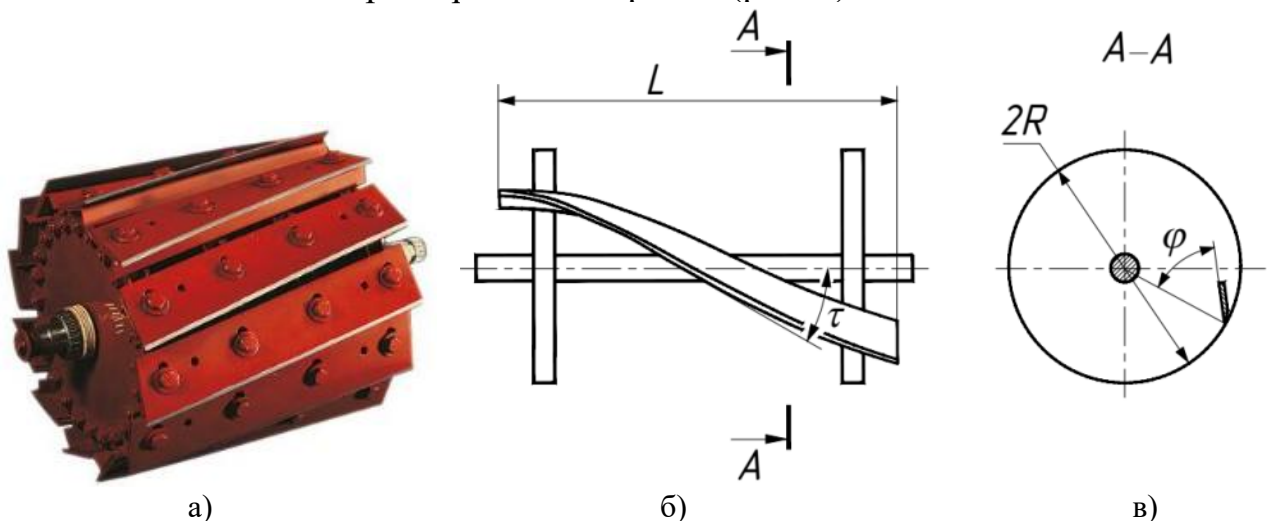


Рис. 1. Подрібнювальний барабан та конструктивні параметри окремого ножа:

- а) подрібнювальний барабан із ножами;
- б) окремий ніж на барабані;
- в) поперечний переріз ножа

Ніж характеризується наступними конструктивними параметрами: сталим кутом  $\tau$  між віссю барабана і дотичною до леза ножа; кутом  $\varphi$  між радіальним напрямом і прямою поперечного перерізу ножа; довжиною  $L$  ножа; радіусом  $R$  уявного циліндра, на якому розташоване лезо ножа.

Гвинтові нерозгортні поверхні неможливо зігнути на площину, але вони згинаються на поверхні обертання із збереженням довжин ліній і кутів між ними. Прямий відкритий гелікоїд можна зігнути на однопорожнинний гіперболоїд обертання. Демонстрація такого згинання за отриманими параметричними рівняннями показана на рис. 2.

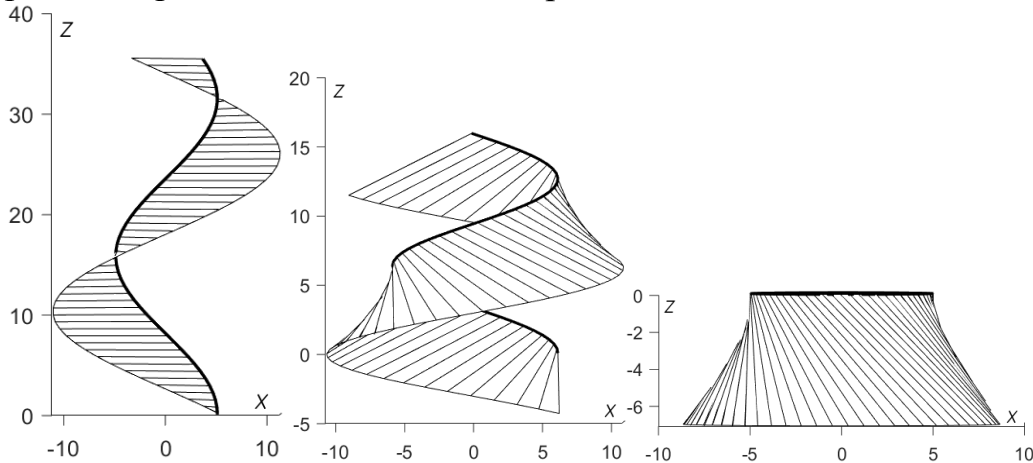


Рис. 2. Окремі проміжні положення прямого відкритого гелікоїда при його згинанні

Прямий гелікоїд (рис. 2, ліворуч) згинається поступовим зменшенням кроку до нуля у однопорожнинний гіперболоїд обертання (рис. 2 праворуч). Отриманий внаслідок такого згинання однопорожнинний гіперболоїд обертання, який відповідає поверхні гвинтоподібного ножа, апроксимується зрізаним конусом. Точна розгортка зрізаного конуса буде наближеною розгорткою гвинтоподібного ножа. Знайдений за конструктивними параметрами ножа відсік гіперболоїда близький до циліндричної поверхні (рис. 3).

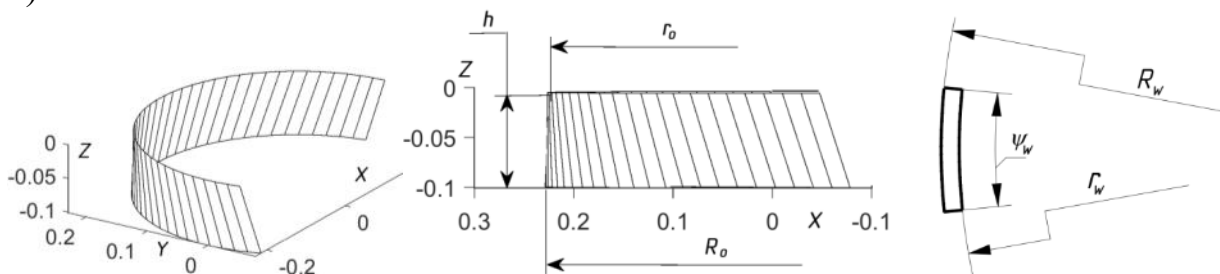


Рис. 3. Відсік гіперболоїда обертання та наближена його розгортка

Вказані на рис. 3 розміри гіперболоїда визначаються через конструктивні параметри ножа:

$$R_0 = \frac{R \sin \varphi}{\sin \tau \sqrt{\sin^2 \varphi + \operatorname{ctg}^2 \tau}}; \quad r_0 = \sin \varphi \sqrt{R^2 + \frac{(u_0 - R \cos \varphi)^2}{\sin^2 \varphi + \operatorname{ctg}^2 \tau}}; \quad h = \frac{u_0 \operatorname{ctg} \tau}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \operatorname{ctg}^2 \tau}}, \quad (1)$$

де  $u_0$  – ширина ножа, інші параметри позначені на рис. 1.

Виходячи із цього, знайдено розміри наближеної розгортки (рис. 3, праворуч):

$$R_w = \frac{R_0}{R_0 - r_0} \sqrt{(R_0 - r_0)^2 + h^2}; \quad r_w = \frac{r_0}{R_0 - r_0} \sqrt{(R_0 - r_0)^2 + h^2}; \quad \psi_w = \frac{L}{R_0 \cos \tau}. \quad (2)$$

Знаходження параметрів однопорожнинного гіперболоїда, на який згинається ніж, дало можливість знайти розміри наближеної розгортки (2) через його конструктивні параметри.

**УДК 621.87**

## **ПІДХОДИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ МАНІПУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ**

**О.О. СПОДОБА, Ph.D**

**М. О. СПОДОБА, Ph.D**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [sp1309@ukr.net](mailto:sp1309@ukr.net)*

Сучасні технологічні процеси завантаження та розвантаження складно уявити без використання роботизованих комплексів. Використання роботизованих комплексів дозволяють оптимізувати роботу персоналу, зменшити фізичне навантаження на працівника та підвищити продуктивність операцій завантаження-розвантаження. Однак, не зважаючи на велику розповсюдженість різноманітних типів маніпуляційних систем з гідравлічним приводом, на сьогоднішній день, актуальним питанням залишається створення уніфікації підходів до їх конструювання та розробки.

Конструювання нових маніпуляторів з гідравлічним приводом потребує врахування наступних факторів [1]: простота конструювання та технологічність виготовлення; застосування в конструкції стандартизованих деталей; правильність форм та розмірів деталей. Особливу роль відіграє якість матеріалів, міцність зварних з'єднань, точність виготовлення та складання вузлів металоконструкції [1, 2]. Нові конструктивні рішення маніпуляторів з гідравлічним приводом мають забезпечувати підвищення продуктивності та ефективності виконання розвантажувально-навантажувальних операцій, тому постає питання у підвищенні робочої швидкості. При цьому, підвищення робочої швидкості та одночасному зменшенні власної маси металоконструкції маніпулятора вимагає застосовувати механізми керування з характеристикою

плавного регулювання переміщення ланок, які дадуть змогу знизити динамічні навантаження у приводних механізмах та відповідно металоконструкції стрілової системи маніпулятора [2, 3].

#### **Список використаних джерел**

1. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Сподоба О. О. Оптимізація режимів руху кранаманіпулятора з гідроприводом: монографія. К.: ЦК «КОМПІНТ», 2021. 262 с.
2. Loveikin V., Spodoba O., Spodoba M., Romasevych Y. Research of dynamics of hydraulic drive with a hydraulic distributor. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry. Rzeszow- Lviv, 2019, Vol. 19, No. 3, P. 45-54.
3. Loveikin, V., Romasevich, Y., Spodoba, O., Loveykin, A., Pochka, K.: Optimization of the mode of movement of the boom system of the loader crane. Strength Mater. Theory Struct. (111) (2023). <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.223-236>

**УДК 662.767.2: 663.033: 620.9.004.18**

### **ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ДВОЯРУСНОЇ ЛОПАТЕВОЇ МЕХАНІЧНОЇ МІШАЛКИ**

**М. О. СПОДОБА, Ph.D**

**О. О. СПОДОБА, Ph.D**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)*

На сьогоднішній день, біогазові технології посідають одну із головних ролей у формуванні енергетичної системи у різних країнах з різними кліматичними умовами. Незважаючи на високу зацікавленість держав у впровадженні альтернативних джерел енергії у вигляді біогазу, актуальним залишається питання зниження енергетичних витрат на перемішування та підігрів сировини яка зброджується [1-3]. Найбільш енергетично та економічно вигідним рішенням є використання механічних змішувачів пристроїв у циліндричних біогазових реакторах вертикального типу. Проведені дослідження вказують на ефективність повільного перемішування сировини у межах від 30 до 50 об/хв [4]. За такої частоти перемішування не відбувається руйнування колоній бактерій та не знижується продуктивність біогазового реактора. Однак, досі відсутні рівняння, що описують зміну потужності від зміни частоти обертання робочого органу мішалки. З цією метою, було проведено дослідження залежності впливу частоти обертання робочого органу

дволопатевої двоярусної мішалки, у якої лопаті встановлені під кутом  $90^0$  на зміну споживаної потужності з подальшим виведенням критеріального рівняння.

У результаті проведення досліджень [5], дволопатевої двоярусної мішалки, у якої лопаті встановлені під кутом  $90^0$  визначено зміну споживаної потужності електричним приводом від швидкості обертання органу змішувача. Результати наведено у вигляді графіку на рис. 1.

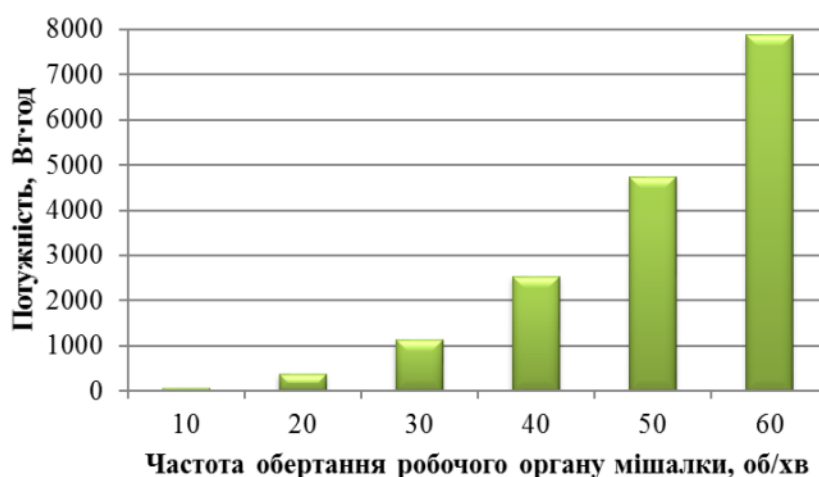


Рис. 1. Витрата потужності електричним приводом від частоти обертання робочого органу дволопатевої двоярусної мішалки

Провівши аналіз графічної залежності (рис. 1) встановлено, що зі збільшенням частоти обертання відбувається збільшення споживаної потужності. Використовуючи поліноміальну залежність, виведено рівняння, що описує зміну потужності від зміни частоти обертання робочого органу дволопатевої двоярусної мішалки у якої лопаті встановлені під кутом  $90^0$ :

$$y = -0.0006 \cdot (x^4) + 3.6088 \cdot (x^3) + 1.9286 \cdot (x^2) - 30.908 \cdot (x) + 29.441$$

Використовуючи рівняння можна визначити кількість споживаної потужності механічної дволопатевої двоярусної мішалки при використанні у циліндричному біогазовому реакторі вертикального типу об'ємом  $5 \text{ м}^3$ .

Наведені у роботі результати можна використовувати для підвищення енергетичної ефективності систем перемішування речовин у реакторах. Актуальним напрямом подальших наукових досліджень є визначення впливу зміни частоти обертання та побудова критеріальних рівнянь для інших типів механічних перемішувачів.

### Список використаних джерел

1. Zablodskiy M., Spodoba M. Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor. In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 2022. P. 101–104. URL:



<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10005607/proceeding>

2. M. Zablodskiy, M. Spodoba O. Spodoba, "Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate to the fermentation temperature", *Problemele energeticii regionale*, no. 1, pp. 83-96, 2022.

<https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.1-53.07>

3. Spodoba M. and Spodoba O. Mathematical Model of Changes in Energy Costs for Thermostabilization of the Substrate and Objects in a Biogas Reactor, 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-6. doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402431

4. Spodoba M.O., Spodoba O.O., Kovalchuk S.I., Oliinik Yu.O. Determination of the Energy Efficient Speed of the Working Body of the Agitator for Small Biogas Reactors. *Problemele energeticii regionale*, Moldova, 2025, no. 3. pp. 141-152, <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2025.3-67.12>

5. Spodoba, M., & Spodoba, O. (2025). Research of energy expenditures for mechanical mixing of raw materials in a biogas reactor. *Electrical Engineering and Power Engineering*, (2), 18–25. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2025-2-2>

УДК 621.7

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

**В. В. КРУШЕЛЬНИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,

**В. А. ЛІННИК**, здобувач,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: [bass.kp24@gmail.com](mailto:bass.kp24@gmail.com); [vadimlinnyk@gmail.com](mailto:vadimlinnyk@gmail.com);

Технологія 3D-друку, яка виконується методом пошарового наплавлення матеріалу (FDM) сьогодні є одним із найбільш використовуваним способом адитивного виробництва завдяки своїй низькій вартості та широкому вибору матеріалів. Процес створення об'єктів базується на екструзії розплавленої полімерної нитки, що наноситься шарами згідно з траєкторією заданою цифровою моделлю.

Попри значні переваги, вироби виготовлені цим методом, мають суттєвий недолік – дискретність процесу друку, що призводить до виникнення характерного дефекту - «ефекту сходинок» (Stair-Stepping Effect), який стає найбільш вираженим на похилих та криволінійних поверхнях [1]. Це не лише погіршує естетичний вигляд виробу, а й знижує його механічну міцність.

Традиційні підходи вирішення цієї проблеми передбачають зменшення висоти шару під час друку, що критично збільшує час виробництва, або застосування методів постобробки, таких як механічне шліфування та хімічне покриття [1]. Проте, ці методи часто змінюють геометричні розміри деталі та є складними для автоматизації виробництва й потребують ручної роботи.

Як перспективну альтернативу пропонується впровадження лазерної постобробки (текстурування та полірування) поверхні у технологічний процес адитивного виробництва.

Для роботи з поширеними матеріалами, таких як PLA, PETG, ABS доцільно використовувати CO<sub>2</sub>-лазери з довжиною хвилі 10,6 мкм [2]. Така довжина хвилі обумовлена високим коефіцієнтом поглинання випромінювання більшістю органічних полімерів, що забезпечує ефективне перетворення енергії променя в тепло безпосередньо у тонкому поверхневому шарі без небажаного прогріву внутрішньої структури деталі. Принцип методу полягає у контрольованому термічному впливі на поверхневий шар деталі. Під дією лазерного випромінювання видимі шари після 3D-друку розплавляються і під дією сил поверхневого натягу заповнюють малі прогалини матеріалу, утворюючи монолітну оболонку глибиною до 0,5 мм [2].

Регулювання параметрів обробки (потужність випромінювання, швидкість переміщення лазерного променя та крок штрихування) дозволяє не лише зменшити шорсткість поверхні, а й створювати заданий мікрорельєф [5]. Обробка поверхні лазером дозволяє знизити шорсткість поверхні у 2-2,5 рази без суттєвої зміни геометричних розмірів, що є перевагою над типовими методами постобробки [6].

Отже, інтеграція систем лазерної постобробки у технологічний процес виготовлення деталей методом пошарового наплавлення матеріалу дозволяє автоматизувати обробку виробів покращуючи якість їхньої поверхні. Подальші дослідження необхідно спрямувати на розробку алгоритмів планування траєкторії руху лазера для обробки поверхонь складної форми.

### **Список використаних джерел**

1. Research on the surface quality improvement of 3D-printed parts through laser surface treatment / J. Lambarri, A. Leunda, I. Soriano, C. Sanz // *Physics Procedia*. – 2014. – Vol. 56. – P. 1169–1176.
2. Laser surface polishing of 3D printed polylactic acid (PLA) with different levels of absorption / [Authors] // *Optics and Laser Technology*. – 2025. – Vol. 182. – P. 111–124.
3. Twardowski P., Wojciechowski S., Chwalczuk T. Laser Polishing of Vertically Oriented FDM-PLA Components: Influence of Laser Power and Polishing Speed. *Polymers*. 2025. Vol. 17, Iss. 22. 3412.
4. Kumbhar S., Teli S. Surface roughness improvement of FDM parts using laser treatment: A review. *Materials Today: Proceedings*. 2024. Vol. 94. P. 156–162.

УДК: 631.356.2

## ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

**М. Р. ПАНЬКІВ**, докт. техн. наук, професор  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*  
**Н. А. ДУБЧАК**, канд. техн. наук, доцент  
*ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»,*  
E-mail: [pankiv@tntu.edu.ua](mailto:pankiv@tntu.edu.ua), [dybchak1010@ukr.net](mailto:dybchak1010@ukr.net)

Проектування та розробка робочих органів машин для збирання крупних коренеплодів у різних ґрунтово-кліматичних умовах, є досить технічно та технологічно складною науковою проблемою, а й відповідно – конструкторською та технологічною розробкою.

Для успішного вирішення цієї проблеми очисні робочі органи коренезбиральної машини повинні характеризуватися адаптаційною здатністю, яка передбачає можливість пристосовування до зміни мінливих структурованих природно-кліматичних умов збирання коренеплодів, їх біологічних і агрофізичних особливостей.

Для цього необхідно передбачити необхідні адаптивні налаштування та зміну конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів для конкретних умов збирання коренеплодів.

Як правило це призводить до ускладнення конструкції, збільшення металоємності та вартості машини. Тому робочі органи коренезбиральних машин повинні бути не тільки універсальними, а й простими в конструктивному виконанні та доступними в компоновальному просторовому розміщенні.

Розробка та оптимізація параметрів нових робочих органів і машин загалом вимагає поетапного аналізу та узагальнення існуючих технологій, способів збирання коренеплодів, конструктивних особливостей сучасних технічних засобів і робочих органів, виявлення їх переваг та недоліків, створення теорії технологічного процесу, вироблення критеріїв оптимізації параметрів, пошуку нових інженерних методів розрахунку.

Математичні моделі, як наслідковий об'єкт «чорної скрині» або об'єкт невивченого технологічного процесу інтенсифікації відокремлення домішок від коренеплодів залежно від вхідних факторів і вихідних параметрів процесу класифіковано за принципами, які наведено на рис. 1.

За характером технологічного процесу інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів, або процесу роботи транспортно-очисних систем вороху коренеплодів, математичні моделі можуть бути такими та мати такі властивості:



Рис 1. Загальні принципи класифікації математичних моделей залежно від вхідних факторів і вихідних параметрів

- детерміновані, які відповідають детермінованим процесам, що мають чіткий і явно виражений однозначний зв'язок між фізичними величинами, які характеризують стан технічної системи у будь-який час;

- невизначені, які формуються з того, що зміна визначальних величин відбувається випадковим чином і значення вихідних величин знаходяться в імовірнісній відповідності до вхідних величин і не визначаються однозначно.

Серед етапів процесу побудови математичних моделей можна виділити такі, які наведено на рис. 2.

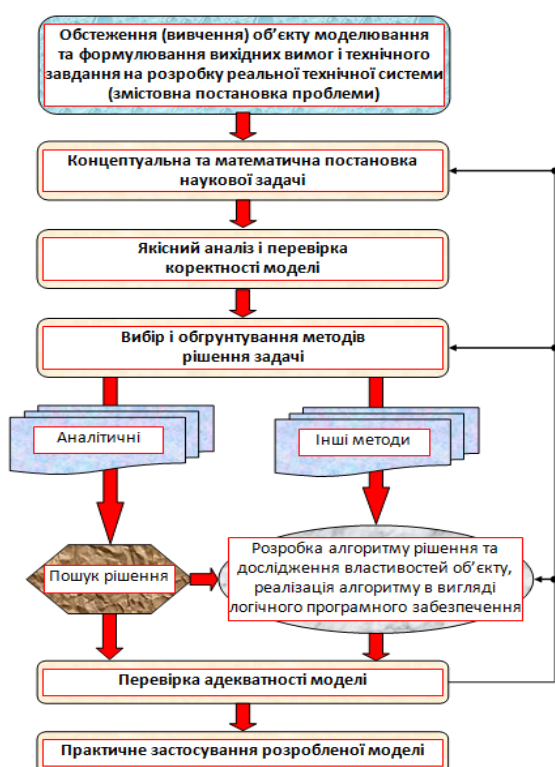


Рис. 2. Основні практичні етапи побудови математичної моделі технічних систем

Для опису процесів функціонування технічних систем, як правило у більшості випадків застосовують методи розроблення та одночасного поєднання емпіричних і аналітичних математичних моделей, або методи емпіричного та аналітичного моделювання.

Застосування експериментальних досліджень та емпіричного моделювання дозволяє зменшити витрати при дослідженні технічних систем, а також досягнути необхідну точність моделей. У результаті обробки експериментальних даних отримують залежність, яка математично пов'язує функцію відгуку із вхідними факторами, що і є емпіричною моделлю системи. Визначення числових значень коефіцієнтів моделі проводиться за результатами експериментальних досліджень та обробки

експериментальних даних.

Розробка та побудова аналога-моделі динамічних машинних систем здійснюється на основі застосування теорії ймовірності та теорії випадкових функцій, математичної статистики та комп'ютерного математичного програмування тощо, при цьому кінцевим продуктом дослідження є розробка та аналіз диференціальних і інтегральних рівнянь, які функціонально описують взаємозв'язки та явища безпосередньо самого об'єкту дослідження або технологічної системи.

Методи моделювання та характеристики моделей, які застосовуються під час дослідження складних технічних систем наведено на рис. 3.

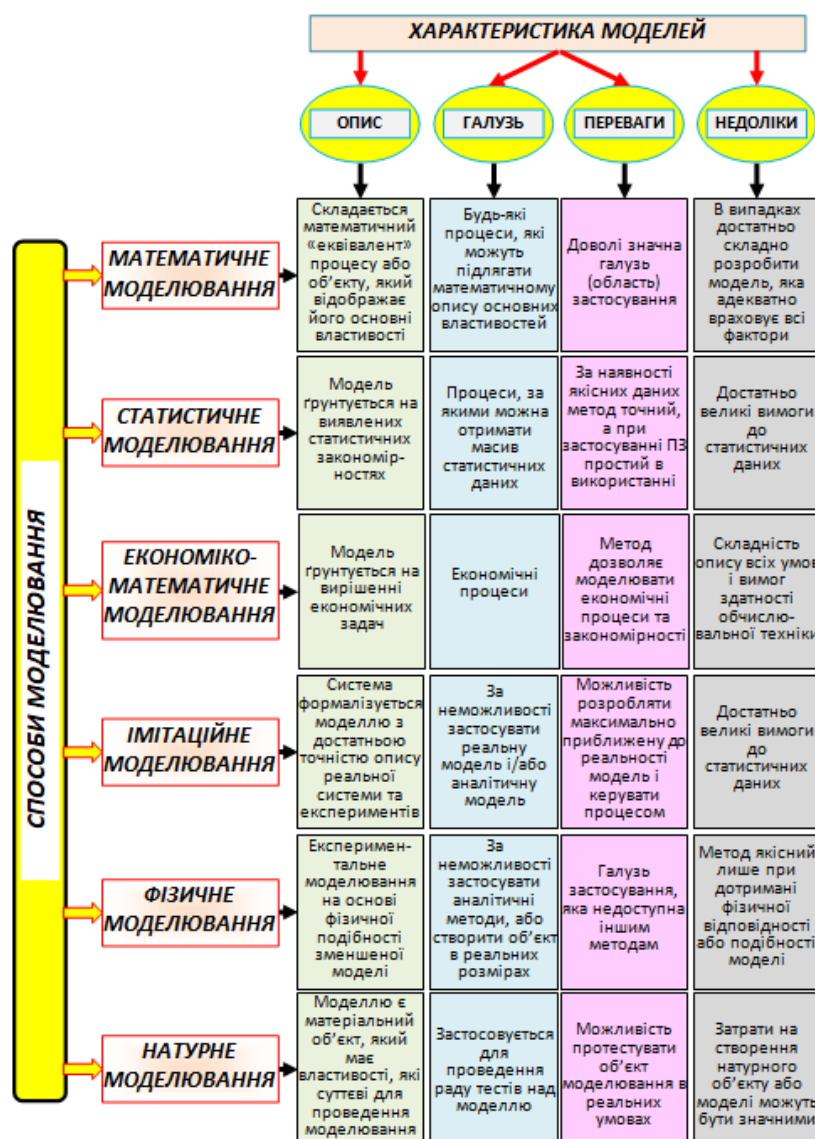


Рис. 3. Методи моделювання складних технічних систем та їх характеристики

Окремо в методології математичного моделювання можна виділити механіко-математичні моделі, які описують складні технологічні процеси роботи базових вузлів і технічних систем сільськогосподарських машин, у тому



числі і коренезбиральних машин, які призначені для механізованого збирання крупних коренеплодів цукрових і кормових буряків, а також коренеплодів цикорію. Окремою важливою ланкою дослідження процесів роботи машин для збирання коренеплодів, є розробка та оптимізація параметрів і режимів роботи робочих органів транспортно-очисних систем вороху.

УДК: 631.331.85

## АНАЛІЗ РУХУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАСІ

**В. М. БАРАНОВСЬКИЙ**, докт. техн. наук, професор  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*  
*E-mail: baranovskyvm@ukr.net*

Рух сипкого матеріалу по криволінійній ділянці траси доцільно розглянути як випадок плоского руху елементарної маси, яка знаходиться в просторі скребка тягового пристрою та рухається рівномірно з початковою середньою швидкістю.

Нехай центр елементарної маси сипкого матеріалу, яку позначимо як  $dm_{Ac}$  (рис. 1), у початковий момент руху зі швидкістю переміщення  $\mathcal{G}_A$ , або початковий момент часу  $t=0$ , знаходиться у точці  $A$ , положення якої визначається радіусом-вектором  $\vec{R}_A$ , при цьому  $\varphi_A = 0$ . За проміжок часу  $t = t_B$  центр елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_{Ac}$  внаслідок дії відцентрових сил переміщується у точку  $B$ , при цьому положення точки  $B$  центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_{Bc}$  визначається радіусом-вектором  $\vec{R}_B$  та полярним кутом  $\varphi_B$ , тобто при русі елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_c$  координати  $\vec{R}_c$  і  $\varphi_c$  змінюються з зміною часу.

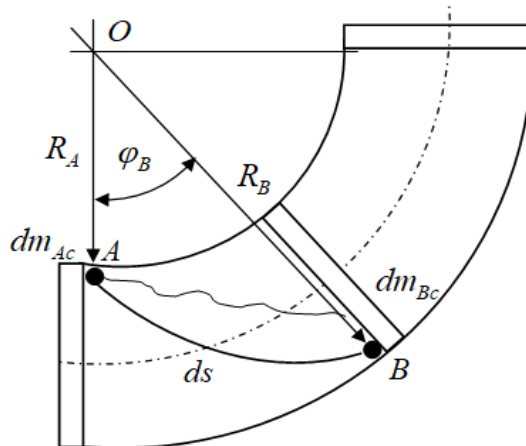


Рис. 1. Схема переміщення центра елементарної маси сипкого матеріалу

Тоді рівняння руху центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_c$  в полярних координатах для плоского випадку переміщення матеріального тіла є

$$\vec{R}_c = f_1(t); \quad \varphi_c = f_2(t). \quad (1)$$

Введемо одиничні вектори  $\vec{R}_A^0$  і  $\vec{R}_B^0$  (рис. 2), які направлені по відповідних радіусах-векторах відповідних точок, які характеризують центри маси  $dm_{Ac}$  і  $dm_{Bc}$ , а також вектори  $\vec{p}_A^0$  і  $\vec{p}_B^0$ , які перпендикулярні до відповідного радіуса-вектора  $\vec{R}_A$  і  $\vec{R}_B$  та направлені в сторону збільшення полярного кута  $\varphi_B$ .

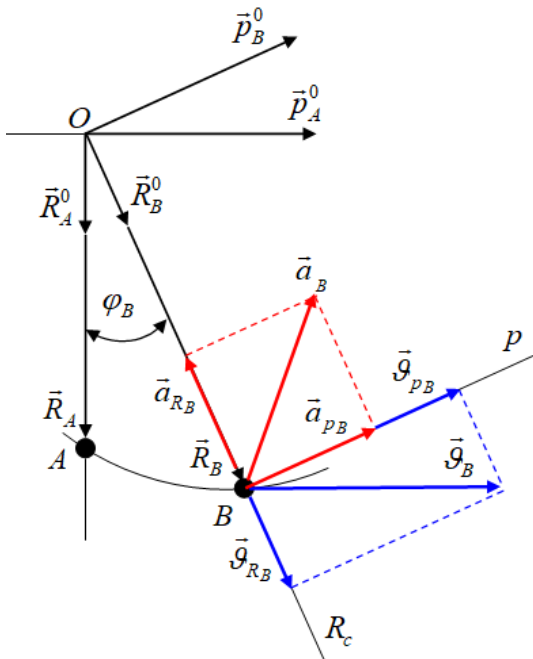


Рис. 2. Схема для розрахунку кінематичних параметрів руху сипкого матеріалу

Отримано диференціальне рівняння для визначення векторного значення швидкості  $\vec{g}_B$  точки  $B$ , яка характеризує положення центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_{Bc}$  у момент часу  $t = t_B$

$$\vec{g}_B = R_B \vec{p}_B^0 \frac{d\varphi_B}{dt} + \vec{R}_B^0 \frac{dR_B}{dt}, \quad (2)$$

або підставивши значення  $R_c = f_1(t)$ ,  $\varphi_c = \varphi_B = f_2(t)$  згідно з (1) можна записати

$$\vec{g}_B = f_1(t) \vec{p}_B^0 \frac{df_2(t)}{dt} + \vec{R}_B^0 \frac{df_1(t)}{dt}. \quad (3)$$

Якщо відомі, або задати рівняння (1) руху центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_c$  в полярних координатах, тоді рівняння траєкторії руху, швидкість і прискорення центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_c$  можна знайти

шляхом виключення із рівнянь (1) часу  $t$ , при цьому  $t = \varphi_B / f_2$ .

Тоді рівняння (3) можна записати в наступному вигляді

$$\vec{g}_B = f_1\left(\frac{\varphi_B}{f_2}\right) \vec{p}_B^0 \frac{d\varphi_B}{dt} + \vec{R}_B^0 \frac{df_1\left(\frac{\varphi_B}{f_2}\right)}{dt}. \quad (4)$$

Аналіз диференціального рівняння (4) показує, що вектор швидкості  $\vec{g}_B$  точки  $B$  рівний геометричній сумі двох векторів – першого вектора, який розташований на радіусі-вектору точки  $B$   $\vec{R}_B = \vec{OB}$  та направлений вздовж нього, а другий перпендикулярний до цього радіуса-вектора.

Скалярне значення проекції вектора швидкості  $\vec{g}_{RB}$ , спрямованого вздовж

напрямку радіуса-вектора  $\vec{R}_B$  точки  $B$ , або скалярне значення проекції радіальної швидкості точки  $B$  визначається за формулою

$$\mathcal{G}_{R_B} = \frac{dR_B}{dt} = \dot{R}_B, \quad (5)$$

а скалярне значення проекції вектора швидкості  $\vec{\mathcal{G}}_{p_B}$ , перпендикулярної до напрямку радіуса-вектора  $\vec{R}_B$  точки  $B$ , або скалярне значення проекції трансверсальної швидкості точки  $B$  буде

$$\mathcal{G}_{p_B} = R_B \frac{d\phi_B}{dt} = R_B \dot{\phi}_B, \quad (6)$$

де  $\mathcal{G}_{R_B}$ ,  $\mathcal{G}_{p_B}$  – радіальна та трансверсальна швидкість центра елементарної маси  $dm_{Bc}$  сипкого матеріалу в точці  $B$ , м/с;  $R_B$  – миттєвий радіус вектор положення центра елементарної маси.

За радіальною  $\mathcal{G}_{R_B}$  та трансверсальною  $\mathcal{G}_{p_B}$  швидкостями визначаємо величину та напрямок скалярного значення швидкості руху  $\mathcal{G}_B$  центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_{Bc}$

$$\mathcal{G}_B = \sqrt{(\mathcal{G}_{R_B})^2 + (\mathcal{G}_{p_B})^2} = \sqrt{(\dot{R}_B)^2 + (R_B \dot{\phi}_B)^2} = \sqrt{\left(\frac{dR_B}{dt}\right)^2 + R_B^2 \left(\frac{d\phi_B}{dt}\right)^2}. \quad (7)$$

Направляючі косинуси, які визначають, під яким кутом направлені відповідні вектори визначаються за формулами:

- між напрямками векторів  $\vec{\mathcal{G}}_B$  і  $\vec{R}_B^0$

$$\cos(\vec{\mathcal{G}}_B, \vec{R}_B^0) = \frac{\frac{d\vec{R}_B}{dt}}{\vec{\mathcal{G}}_B} = \frac{\dot{R}_B}{\mathcal{G}_B} = \frac{\dot{R}_B}{\sqrt{(\dot{R}_B)^2 + (R_B \dot{\phi}_B)^2}}; \quad (8)$$

- між напрямками векторів  $\vec{\mathcal{G}}_B$  і  $\vec{p}_B^0$

$$\cos(\vec{\mathcal{G}}_B, \vec{p}_B^0) = \frac{\vec{R}_B \frac{d\phi_B}{dt}}{\vec{\mathcal{G}}_B} = \frac{R_B \dot{\phi}_B}{\mathcal{G}_B} = \frac{R_B \dot{\phi}_B}{\sqrt{(\dot{R}_B)^2 + (R_B \dot{\phi}_B)^2}}. \quad (9)$$

Тоді вектор прискорення  $\vec{a}_B$  (рис. 2) центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_c$ , або в нашому випадку прискорення центра елементарної маси сипкого матеріалу  $dm_{Bc}$  точки  $B$  визначаємо як похідну вектора швидкості  $\vec{\mathcal{G}}_B$  за часом  $t = t_B$ , тобто  $\vec{a}_B = d\vec{\mathcal{G}}_B / dt$ , або згідно з (5) маємо:

$$\vec{a}_B = d \left( \sqrt{\left(\frac{d\vec{R}_B}{dt}\right)^2 + \vec{R}_B^2 \left(\frac{d\phi_B}{dt}\right)^2} \right) / dt. \quad (10)$$

Крім того, зважаючи на те, що згідно рис. 2.2  $\vec{R}_B = R_B \vec{R}_B^0$  і підставивши значення (6) в вираз  $\vec{a}_B = d\vec{g}_B / dt$  одержимо

$$\vec{a}_B = \frac{d\left(\frac{dR_B}{dt} \vec{R}_B^0 + R_B \vec{R}_B^0 \frac{d\varphi_B}{dt}\right)}{dt}, \quad (11)$$

або

$$\vec{a}_B = \ddot{R}_B \vec{R}_B^0 + \dot{R}_B \left( \frac{d\vec{R}_B^0}{dt} + \dot{\varphi}_B \vec{p}_B^0 \right) + R_B \left( \ddot{\varphi}_B \vec{p}_B^0 + \dot{\varphi}_B \frac{d\vec{p}_B^0}{dt} \right), \quad (12)$$

а похідну  $\frac{dp_B^0}{dt}$  знаходимо як похідну вектора постійного модуля

$$\frac{dp_B^0}{dt} = |p_B^0| \frac{d\varphi_B}{dt} (-\vec{R}_B^0) = -\frac{d\varphi_B}{dt} \vec{R}_B^0 = -\dot{\varphi}_B \vec{R}_B^0. \quad (13)$$

Тоді

$$\vec{a}_B = \left[ \ddot{R}_B - R_B (\dot{\varphi}_B)^2 \right] \vec{R}_B^0 + (R_B \ddot{\varphi}_B + 2\dot{R}_B \dot{\varphi}_B) \vec{p}_B^0. \quad (14)$$

УДК 662.767.2: 663.033: 620.9.004.18

## ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНО-РЕЄСТРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

М. О. СПОДОБА, Ph.D

О. О. СПОДОБА, Ph.D

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)*

Експеримент є головною частиною наукових досліджень в основу якого покладено наукове дослідження з максимально точною реєстрацією умов та параметрів. Саме результати експерименту дозволяють встановити наявні залежності протікання певних процесів на реальному об'єкті. Для економії часу та ресурсів експериментальні дослідження необхідно реалізовувати таким чином, щоб за мінімальну кількість проведених дослідів отримати високоточні дані. Котрі у подальшому використовуватимуться у практичних та теоретичних цілях.

Достовірність результатів експерименту залежить від правильності розробки методики проведення експерименту, вибору високоточного вимірювально-реєструючого обладнання та місця його розташування на експериментальній установці. Оскільки, більшість існуючого вимірювально-

реєструючого обладнання потребує джерела живлення постійного струму напругою 5, 12 та 24 вольти, важливу роль у підготовці до проведення експерименту та отримання достовірних результатів є вибір джерела живлення для високоточного вимірювально-реєструючого обладнання [1-3].

Принципова схема за якою проводилось дослідження блоків живлення наведено на рис. 1.

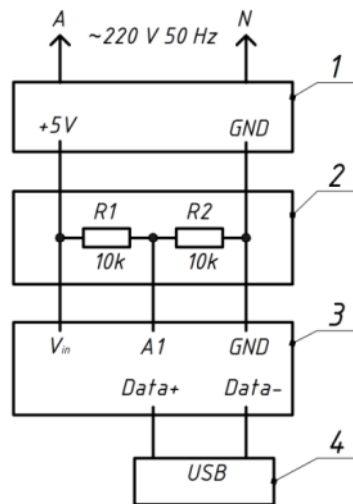


Рис. 1. Принципова схема дослідження блоків живлення: 1 – блок живлення; 2 – резистивний подільник напруги; 3 – мікроконтролер Arduino Nano V 3.0; 4 – ноутбук HP EliteBook 8440p; R1, R2 – постійні резистори 10 кОм, 0,25 Вт,  $\pm 0,1\%$ ; A1 – вхід аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера Arduino Nano V 3.0.

Дослідження проводили наступним чином. Блок живлення (1) під'єднували до однофазного джерела змінного струму, до виходу блоку живлення (5 В) під'єднували резистивний подільник напруги побудований на постійних резисторах 10 кОм (2), який виступає у ролі статичного вимірювального датчика. Падіння напруги на резистивному подільнику вимірювали за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера Arduino Nano V 3.0 (3). Інформація з АЦП через USB, за допомогою програми Arduino IDE виводилась на монітор ноутбуку HP EliteBook 8440p (4). Час дослідження для кожного блоку живлення прийнято 1000 мілісекунд. Частота опитування виходу АЦП складає 6,67 мс.

Результати експериментальних досліджень імпульсного блоку живлення для побутових приладів АТХ-300 наведено на рис. 2.

З проведеного аналізу графічної залежності (рис. 2) помітно, що вихідна напруга на резистивному подільнику має пульсуючий характер протягом усього дослідження, максимальна амплітуда пульсацій 0,06 В. За час дослідження (1000 мс) явно вираженим є скупчення імпульсів у зоні нижче значення ( $U_n = 2,5$  В) та спостерігається відсутні ділянки на кривій вихідного сигналу зі стабільною вихідною напругою, максимальна послідовність вимірювання номінальної напруги ( $U_n = 2,5$  В) на резистивному подільнику становить 13,34 мс. Середнє значення вимірюваної напруги за 1000 мілісекунд становить 2,49669



В, що на 0,132% менше за номінальну напругу ( $U_n = 2,5$  В). При цьому, кількість вимірних значень номінальної напруги ( $U_n = 2,5$  В) за період дослідження (1000 мс) становить 28,67% від загальної кількості вимірювань.

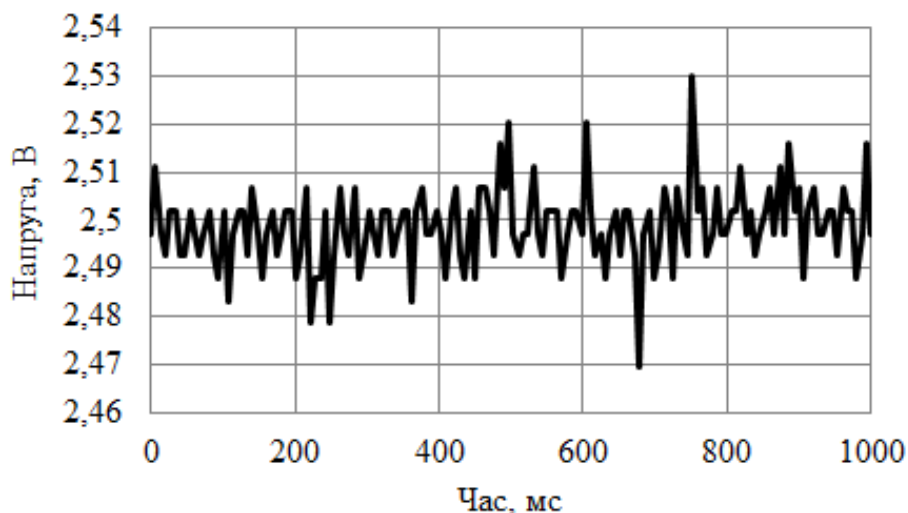


Рис. 2. Коливання показів напруги на резистивному подільнику при живленні останнього від імпульсного блоку живлення АТХ-300.

Використання імпульсного блоку живлення для побутових приладів АТХ-300 для живлення вимірювального обладнання при експериментальних дослідженнях, за рахунок великих пульсацій напруги та відсутності ділянок стабільної вихідної напруги, не забезпечить отримання достовірних результатів з вимірювально-реєструючого обладнання та знизить якість отриманого масиву даних.

Практична цінність отриманих у роботі результатів полягає у тому, що використання у експериментальних дослідженнях блоків живлення з меншою пульсацією вихідної напруги дозволить знизити час програмної обробки отриманих масивів даних, підвищить ефективність проведення експерименту та точність отриманих залежностей [1-4].

### Список використаних джерел

1. Zablodskiy, M., & Spodoba, M. (2021). Power supply of measuring sensors when performing experimental studies of electrical thermal mechanical system. *Energy and Automation*, 0(4), 39-48. doi:<http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.04.039>
2. M. Zablodskiy, M. Spodoba and O. Spodoba, "Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate to the fermentation temperature", *Problemele energeticii regionale Moldova*, no. 1, pp. 83-96, 2022.
3. Заблодський М. М., Сподоба М. О., Сподоба О. О. Експериментальне

дослідження витрати енергії на процес початкового нагріву субстрату за використання електротепломеханічної системи. Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя, 2022. Випуск 1. 49–59 с.  
<https://doi.org/10.15588/1607-6761-2022-1-5>

4. Zablodskiy, M., Spodoba, M., & Spodoba, O. Експериментальне дослідження енергетичних втрат біогазового реактора в навколишнє середовище при мезофільному режимі зброджування. *Енергетика і автоматика*, (2), 18-32.

УДК 630\*377.4:519.816

## **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКОВАННЯ ТРЕЛЮВАЛЬНИХ МАШИН В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

**Б. Я. БАКАЙ**, канд. техн. наук, доцент  
**М. А. ДЕЙНЕКА**, аспірант

*Національний лісотехнічний університет України, Львів*  
*E-mail: mykola.deyneka@nltu.edu.ua, bakay@nltu.edu.ua*

Сучасний стан виробничої діяльності у лісовому господарстві вимагає впровадження високотехнологічних рішень, що здатні забезпечити баланс між економічною ефективністю та збереженням лісових екосистем [1]. Особливої ваги це питання набуває в умовах складного рельєфу та мінливості природно-виробничих чинників, де експлуатація трелювальних машин характеризується значним рівнем невизначеності [2]. Традиційні методи проектування та експлуатування технологічного устаткування трелювальних машин часто не враховують стохастичний характер навантажень, неоднорідність ґрунтового покриття та суб'єктивність експертних оцінок, що призводить до нераціонального використання енергетичних ресурсів або надмірного техногенного впливу на довкілля. Тому обґрунтування експлуатаційних параметрів і режимів роботи технологічного устаткування трелювальних машин на основі сучасного математичного апарату прийняття рішень є критично необхідним для підвищення ефективності виробничих процесів.

Пошук оптимальних параметрів технологічного устаткування трелювальних машин в умовах невизначеності зумовлений необхідністю створення адаптивних інженерно-технічних систем, здатних ефективно функціонувати при зміні зовнішніх факторів без втрати продуктивності. Оскільки більшість вхідних чинників, таких як вологість ґрунту, об'єм круглих

лісоматеріалів чи динамічний опір переміщенню, мають недетермінований характер, класичні оптимізаційні моделі виявляються малоефективними. Пошук оптимальних значень у такому середовищі дозволяє не лише стабілізувати роботу приводу технологічного устаткування, а й знайти відповідний режим роботи, який забезпечить мінімальну енергоємність при максимально можливій продуктивності трелювальних машин. Це перетворює процес прийняття рішення під час проєктування або використання устаткування з інтуїтивного вибору на науково обґрунтоване рішення, що безпосередньо впливає на техніко-економічні показники лісозаготівлі [2].

В основу вирішення поставленої задачі покладено розроблення методики багатокритеріальної оптимізації на основі однозначних трапецієподібних нейтрософних чисел (SVTN-numbers) [3]. Вибір саме трапецієподібної форми зумовлений її здатністю найбільш адекватно описувати інтервальні значення експлуатаційних параметрів, таких як тягове зусилля або швидкість руху, що змінюються під впливом рельєфу лісосіки. Математично таке число  $\tilde{a}$  задається як  $\tilde{a} = [(a_1 + a_2 + a_3 + a_4); T_{\tilde{a}}, I_{\tilde{a}}, F_{\tilde{a}}]$ , де параметри  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$  визначають межі розмитості технічного показника, а компоненти  $T, I, F$  відображають відповідно ступені істинності, невизначеності та хибності прийнятого рішення. Процес обґрунтування параметрів розпочинається з формування матриці рішень, де кожна альтернатива (варіант налаштування устаткування, режим роботи тощо) оцінюється за системою критеріїв: продуктивність, енергоємність та екологічна безпека. Оскільки інформація про стан лісосіки часто є неповною або суперечливою, для порівняння варіантів застосовується функція оцінки  $S(\tilde{a})$ , яка для SVTN-числа розраховується за залежністю

$$S(\tilde{a}) = \frac{(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)}{12} \cdot (2 + T_{\tilde{a}} - I_{\tilde{a}} - F_{\tilde{a}}), \quad (1)$$

Використання цієї моделі дозволяє виконати дефузифікацію даних і перейти від розмитих категорій до конкретних числових значень режимів роботи. Причинно-наслідковий зв'язок у системі “машина-середовище” реалізується через розрахунок ваг критеріїв. В умовах високої невизначеності доцільно використовувати метод нейтрософних м'яких матриць, що дає змогу врахувати варіативність зовнішніх навантажень як додатковий параметр. Це дозволяє встановити раціональне співвідношення між кінематичними параметрами технологічного устаткування машини та динамічними характеристиками процесу трелювання. У результаті такого моделювання визначається область компромісних рішень (множина Парето), яка мінімізує негативний вплив на ґрунт при забезпеченні максимальної тягової потужності. Такий підхід трансформує процес керування трелювальною машиною в інтелектуальну систему, де параметри устаткування адаптуються до поточних умов на основі обробленої нейтрософної інформації.

Для реалізації процесу прийняття рішення було проведено порівняльний аналіз трьох типів технологічного устаткування трелювальних машин для

вибіркових рубок: стандартного скідера з пачкозатискним пристроєм ( $A_1$ ), трактора з маніпулятором ( $A_2$ ) та запропонованого варіанта – трелювального устаткування з лебідкою, змонтованою на фронтальному навантажувачі ( $A_3$ ). Оцінювання проводилося за критеріями продуктивності, енергоємності та маневреності в обмеженому просторі вибіркових рубок. Використовуючи апарат SVTN-чисел, параметру ефективності варіанта  $A_3$  було надано значення  $\tilde{a} = [(0,6; 0,7; 0,8; 0,9); 0,8; 0,2; 0,1]$ , що відображає високий рівень істинності при низькій невизначеності щодо його функціональної гнучкості. Модель прийняття рішення передбачає умову  $0 \leq T + I + F \leq 3$ , що є стандартом для нейтрософних множин.

Шляхом застосування функції оцінки (1) виконано розрахунок інтегрального показника для кожної альтернативи. Для запропонованого варіанта  $A_3$  отримано  $S(\tilde{a}_3) = 0,625$ . Порівняльний аналіз показав, що значення  $S(\tilde{a}_3)$  перевищує показники традиційних варіантів  $S(\tilde{a}_1) = 0,48$  і  $S(\tilde{a}_2) = 0,55$ , що підтверджує раціональність поєднання функцій трелювання та навантаження в одній трелювальній машині. Це пояснюється причинно-наслідковим зв'язком між конструктивним компонуванням трелювальної машини та зменшенням часу на допоміжні операції: фронтальне розташування лебідки забезпечує кращий розподіл мас та дозволяє швидко змінювати режим роботи, від підтягування круглих лісоматеріалів до їх відвантаження й штабелювання.

Результати проведеного дослідження дають змогу зробити висновок, що багатокритеріальна оптимізація в нейтрософному середовищі є ефективним інструментом обґрунтування параметрів технологічного устаткування трелювальних машин. На основі варіантів технологічних схем, режимів експлуатації устаткування трелювальних машин та його параметрів для умов вибіркових рубок найбільш доцільним є використання трелювального устаткування з лебідкою, встановленою на фронтальному навантажувачі. Таке компонування технологічного устаткування забезпечує універсальність трелювальних машин, дозволяючи виконувати повний цикл робіт – від трелювання деревини на лісосіці до її відвантаження на верхніх та проміжних складах. Рекомендується впровадження цього конструктивного рішення в практику лісогосподарських підприємств, оскільки воно дає змогу мінімізувати кількість необхідного устаткування на лісосіці та підвищити загальну ефективність виробничого процесу за умови збереження екологічної цілісності лісових масивів.

### Список використаних джерел

1. Адамовський М. Г., Бакай Б. Я. Аналіз і перспективи використання трелювальних тракторів у лісовому комплексі України // Наук. вісник УкрДЛТУ: збірник наук.-техн. праць. Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля. – Львів : УкрДЛТУ. 2004. – Вип. 14.3. – С. 175-182.

2. Сявавка М. С., Рибицька О. М. Математичне моделювання за умов невизначеності. – Львів : НВФ “Українські технології”. 2000. – 320 с.

3. Deli I. Operators on single valued trapezoidal neutrosophic numbers and SVTN-group decision making. Neutrosophic Sets and Systems. 2019. – Vol. 22. – P. 131-150.

**УДК 621.873**

## **АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА**

**К. Г. КВАСНИЦЬКА, PhD; В. С. ЛОВЕЙКІН, д.т.н., проф.;**  
**О. В. СТЕХНО, PhD**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [katonish@gmail.com](mailto:katonish@gmail.com)*

Сучасне будівництво характеризується зростанням висотності об'єктів, ускладненням монтажних операцій та підвищеними вимогами до безпеки й енергоефективності вантажопідіймальних машин. Баштові крани є основним видом техніки при зведенні багатоповерхових будівель, а механізм підйому вантажу — одним із найбільш відповідальних вузлів, що визначає продуктивність, надійність і економічність роботи крана. [1]

Метою дослідження є параметрична оптимізація механізму підйому вантажу баштового крана з урахуванням критеріїв енергоефективності, зниження динамічних навантажень та забезпечення необхідного рівня міцності елементів приводу. [2]

У роботі проаналізовано конструктивну схему механізму підйому, що включає електродвигун, редуктор, барабан, канатну систему та гальмівний пристрій. Визначено основні параметри, які впливають на ефективність роботи механізму: передавальне число редуктора, діаметр барабана, кратність поліспасти, жорсткість канатної системи, режим пуску та гальмування.

Для дослідження використано методи математичного моделювання та параметричного аналізу. Розроблено розрахункову модель, яка враховує масу вантажу, інерційні характеристики обертових елементів, коефіцієнти тертя та ККД передач. Оптимізація виконувалася за критерієм мінімізації споживаної потужності при обмеженнях на міцність валів, допустимі напруження в канаті та допустимі прискорення вантажу. [3]

Показано, що оптимізація параметрів дозволяє знизити пікові динамічні навантаження на 10–15 % та зменшити споживання електроенергії до 8–12 % залежно від режиму роботи.



Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових баштових кранів, модернізації існуючих конструкцій та впровадженні частотно-керованих електроприводів. Практична цінність роботи полягає у підвищенні ресурсу елементів механізму підйому, зниженні експлуатаційних витрат і забезпеченні більш стабільних динамічних характеристик системи. [4]

Таким чином, параметрична оптимізація механізму підйому є ефективним інструментом підвищення техніко-економічних показників баштових кранів у сучасних умовах будівельного виробництва.

#### **Список використаних джерел**

1. Колобов Л. Н. Грузоподъемные машины. — Киев: Вища школа, 1986.
2. ДСТУ ISO 4301-1:2006. Крани вантажопідіймальні. Класифікація.
3. Krause P.C., Wasynczuk O., Sudhoff S.D. *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. IEEE Press, 2013.
4. Коваль П. М. Механічне обладнання будівельних підприємств. — Київ: Основа, 2006.

**УДК 662.767.2: 663.033: 620.9.004.18**

#### **МАЛОГАБАРИТНІ БІОГАЗОВІ РЕАКТОРИ, ШЛЯХ ДО ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ**

**М. О. СПОДОБА, Ph.D**

**О. О. СПОДОБА, Ph.D**

***Національний університет біоресурсів і природокористування України***

*E-mail:* [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)

Побутові біогазові реактори набувають все більшого розповсюдження у країнах світу. Перш за все, такий попит пов'язаний із постійною підтримкою та заохоченням з боку держави, шляхом впровадження програм підтримки та фінансової допомоги на будівництво та подальше використання альтернативних методів отримання енергії. На сьогодні, біогазові установки є одними із можливих варіантів для екологічного перетворення відходів тваринництва та рослинництва у енергетичний ресурс під назвою – біогаз. У кліматичній зоні України та більшості країн європейського союзу використання біогазових реакторів протягом всього року не можливе без додаткового підігріву речовини яка зброджується, особливо у зимовий період.

Проведені дослідження [1-3] вказують, що поєднання перемішування та підігріву речовини, що зброджується у одну систему призводить до зниження енергетичних витрат на підігрів речовини у малогабаритному біогазовому реакторі в середньому на 15%. Подальші дослідження пов'язані із необхідністю

аналізу середньодобового споживання газу малими фермерськими господарствами та приватними будинками у різні пори року. Врахування цих показників, дозволить створити біогазові реактори з раціональними масо-габаритними характеристиками та підвищити популярність таких установок у населення та інвесторів.

#### **Список використаних джерел**

1. Zablodskiy M., Spodoba M. Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor. In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 2022. P. 101–104. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10005607/proceeding>
2. M. Zablodskiy, M. Spodoba O. Spodoba, "Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate to the fermentation temperature", *Problemele energeticii regionale*, no. 1, pp. 83-96, 2022. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.1-53.07>
3. Spodoba M. and Spodoba O. Mathematical Model of Changes in Energy Costs for Thermostabilization of the Substrate and Objects in a Biogas Reactor, 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-6. doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402431

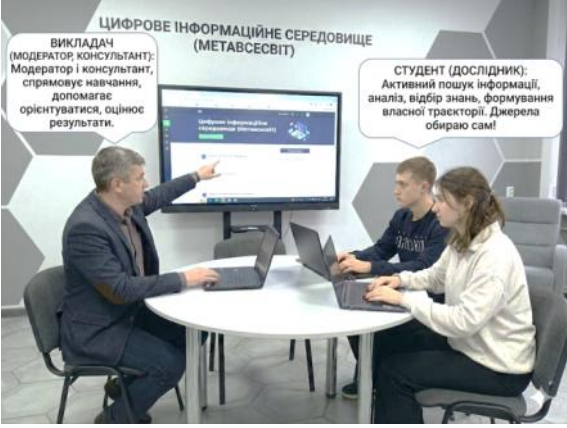
**УДК 514.18**

#### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ (РАНІШЕ — СЬОГОДЕННЯ) РОЛІ ВИКЛАДАЧА У ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН**

**В. М. НЕСВІДОМІН**, доктор технічних наук, професор  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: v\_nesvidomin@nubip.edu.ua

Сучасний освітній процес зазнає суттєвих змін під впливом сервісів штучного інтелекту та відкритого доступу до інформації. Якщо раніше навчання будувалося переважно на передачі знань від викладача до студента, то сьогодні воно формується як система взаємодії між викладачем, студентом і AI-інтегрованим цифровим інформаційним середовищем. Це суттєво змінює ролі учасників освітнього процесу, способи отримання та опрацювання джерел знань та механізми контролю результатів навчання.

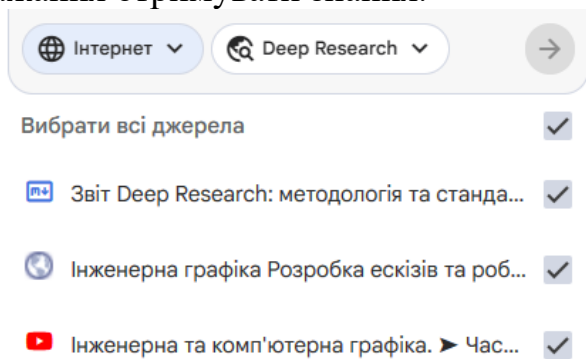
**Табл.1. Порівняльна характеристика моделей навчання**

| Параметр                      | Раніше:<br>модель “викладач - студент”                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Сьогодення:<br>модель “викладач - студент - «AI-інформаційне середовище»”                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип взаємодії                 |  <p><b>ВИКЛАДАЧ (ДЖЕРЕЛО ЗНАНЬ):</b><br/>Основне джерело знань, організатор навчального процесу, контролер результатів. Підручники та матеріали визначає викладач. Централізований контроль.</p> <p><b>СТУДЕНТ (ОДЕРЖУВАЧ):</b><br/>Сприйняття й відтворення отриманої інформації, формування стандартних навичок. Подача залежить від викладача.</p> |  <p><b>ЦИФРОВЕ ІНФОРМАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ (METABESVIT)</b></p> <p><b>ВИКЛАДАЧ (МОДЕРАТОР, КОНСУЛЬТАНТ):</b><br/>Модератор і консультант, спрямовує навчання, допомагає орієнтуватися, оцінює результати.</p> <p><b>СТУДЕНТ (ДОСЛІДНИК):</b><br/>Активний пошук інформації, аналіз, відбір знань, формування власної траєкторії. Джерела обираю самі!</p> |
| Роль викладача                | Основне джерело знань, організатор навчального процесу, контролер результатів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Викладач, студент і AI-інтегроване цифрове інформаційне середовище постійно взаємодіють між собою будь-коли і будь-де                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Роль студента                 | Сприйняття й відтворення отриманої інформації, формування навичок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Модератор і консультант, який спрямовує навчання, допомагає орієнтуватися в інформації та оцінює результати навчання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Джерела навчальної інформації | Активний пошук інформації, її аналіз, відбір знань і формування власної освітньої траєкторії                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Джерела обирає сам студент; вони можуть відрізнятися залежно від індивідуального вибору                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Характер джерел               | Джерела обирає сам студент; вони можуть відрізнятися залежно від індивідуального вибору                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Цифрові ресурси: відкриті бази даних, відео, інтерактивні платформи, сучасні дослідження                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Доступ до знань               | Відкритий і децентралізований доступ до інформації                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Централізований через викладача                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Формат лекційного матеріалу   | Студент може сам створювати навчальні матеріали у різних форматах: тексти, відео, інфографіку, подкасти                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Подача залежить від викладача та підготовлених ним матеріалів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| <b>Параметр</b>      | <b>Раніше:<br/>модель “викладач - студент”</b>               | <b>Сьогодення:<br/>модель “викладач - студент - «AI-інформаційне середовище»”</b>                  |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Візуалізація         | Обмежена технічними можливостями аудиторії                   | Використовуються мультимедійні та інтерактивні засоби, симуляції, цифрові моделі                   |
| Лабораторні роботи   | Повністю залежать від матеріальної бази закладу та викладача | При використанні цифрових лабораторій і симуляторів; студент здобуває практичні навички самостійно |
| Темп                 | Єдиний для всієї групи                                       | Індивідуальний і адаптивний                                                                        |
| Оцінювання знань     | Переважно контроль викладачем                                | Поєднання самооцінювання, автоматизованих систем і експертної оцінки викладача                     |
| Освітня траєкторія   | Стандартизована навчальною програмою                         | Персоналізована та гнучка                                                                          |
| Освітнє середовище   | Переважно аудиторне                                          | Гібридне — поєднання фізичного та цифрового середовища.                                            |
| Функція університету | Основний центр передачі знань                                | Центр експертизи, оцінювання та систематизації знань                                               |
| Педагогічна модель   | Передача готових знань.                                      | Навчання через дослідження, пошук і аналіз інформації                                              |

Використання Google-сервісів, зокрема NotebookLM, у проведенні лабораторної роботи «Ескізи деталей трубного з'єднання» представимо окремими фрагментами згенерованої інформації особисто кожним студентом на власному ПК. Перший крок, це формування бази знань з інженерної графіки, або ж окремої теми, зокрема «Ескізування». Глибокий пошук в NotebookLM для професійної її версії (дякуючи корпорації Google, яка для українських студентів надала можливість з осені 2025 року користуватися pro-версією gemini увесь рік) дозволяє опрацьовувати до 100 назв тестової інформації (книжки, посібники, довідники і т.п.), а особливо – youtube каналами будь-якою мовою (рис.1.а). Зазначимо, що кожен студент під себе формує ці джерела або ж в середовищі NotebookLM, або ж завантажує на власний ПК. Налаштування NotebookLM під себе дозволяє за декілька хвилин отримати потрібну інформацію із всіх цих джерел, наприклад, послідовність виконання ескізу деталі типу «контргайки» з посиланням на відповідні джерела (рис.1.б). Вже на цьому етапі з'являються риси дослідницької діяльності студента, розвиває його

самостійність, критичне мислення, здатність опрацьовувати великий обсяг інформації. Для засвоєння матеріалу студент самостійно формує навчальні карточки для засвоєння термінології та тести для самоперевірки (рис.1, в, г). Зрозуміло, що на всіх цих етапах від студента потрібна відповідальність та бажання отримувати знання.



а)



в)

## 1. Підготовчий етап

• **Аналіз деталі:** Визначте геометрію. Контргайка - це шестигранна призма з відверненням та різьбою. Вона нижча за звичайну гайку і часто має фаску з одного боку або заглиблення для ущільнювача 3

• **Вибір зображень:** Для повного представлення деталі достатньо двох зображень 3 :

1. **Головний вигляд:** Виконується як розріз (фронтальний), щоб показати внутрішню різьбу. Вісь деталі розташовують горизонтально (паралельно основному напису) 4 .

б)

Згідно з ДСТУ, яким основним критерієм деталей відрізняється від інших видів виробів?

A. Вона обов'язково повинна мати різьбові елементи для подальшого з'єднання.

B. Вона виготовляється без застосування збиральних операцій з однорідного матеріалу.

✓ **Правильно!**

Це визначення відповідає ГОСТ 2.101-68, де наголошується на відсутності монтажних робіт при створенні одиниці виробу.

C. Вона складається з декількох частин, з'єднаних шляхом зварювання.

г)

Рис.1. Фрагменти виконання лабораторної роботи «Ескізування»

**Висновки.** Сучасний освітній процес характеризується переходом від моделі передачі знань до моделі їх самостійного конструювання студентом. Студент стає активним учасником навчального процесу, самостійно визначає джерела знань, аналізує інформацію та формує власну освітню траєкторію. AI-сервіси реалізують інтерактивне середовище отримання знань, їх візуалізації та платформи навчальної взаємодії. Надалі роль викладача як транслятора інформації зменшуватиметься, тоді як значення експертної оцінки, методичного супроводу та організації навчального процесу зростатиме.



## РОБОТИЗОВАНІ ПЛАТФОРМИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ: ВІД АВТОНОМНИХ ТРАКТОРІВ ДО МАЛИХ ПОЛЬОВИХ РОБОТІВ

**І. П. СИСОЛІНА**, доцент, к.т.н.

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Трансформація, що переживає сучасне сільськогосподарське машинобудування змінює уявлення в галузі машинобудування від традиційної механізації до автономних інтелектуальних систем. Роботизація розглядається не просто як заміна людської праці, а як засіб переходу до Agriculture 4.0, при цьому кожна одиниця техніки стає частиною єдиної інформаційної мережі (IoT).

Еволюція автономних тракторів пройшла шлях від систем автоматичного водіння до повної автономності.

Використання LiDAR, радарів та стереокамер дає змогу великогабаритній техніці самостійно орієнтуватися, ідентифікувати перешкоди та виконувати операції з високою тяговою потужністю без присутності оператора в кабіні.

Оптимізація паливних витрат, ліквідація помилок, що спричинені «людським фактором», а також можливість цілодобової експлуатації техніки. Поява малих мобільних роботів (наприклад, для моніторингу, прополювання або диференційованого внесення добрив) маркує перехід до мікроуправління посівами.

На відміну від важких тракторів, малі роботи мають низький питомий тиск на ґрунт, що зможе запобігти його переущільненню та сприяти збереженню природної структури.

Застосування алгоритмів комп'ютерного зору (Computer Vision) дозволяє роботам розрізняти культурні рослини та бур'яни, що скорочує використання гербіцидів.

Багатообіцяючим напрямом є використання «роїв» малих роботів, які можуть взаємодіювати між собою для виконання масштабних завдань. Це забезпечить високу відмовостійкість системи, тобто вихід із ладу одного модуля не зупинить роботу всього масиву, що значно підвищить надійність технологічного процесу порівняно з використанням однієї великої машини.

Незважаючи на прогрес, необхідно виокремити існуючі бар'єри:

- необхідність захисту каналів зв'язку між роботами від кібервтручань;
- потреба у створенні ефективних систем автономного живлення (акумуляторів великої ємності або водневих елементів);
- відсутність чіткої законодавчої бази щодо відповідальності за дії повністю автономних машин.

Отже, перехід від важких автономних тракторів до малих роботизованих платформ дає змогу реалізувати концепцію сталого землеробства. Це забезпечить не лише підвищення конкурентоспроможності агропідприємств, а й мінімізацію техногенного навантаження на довкілля.

УДК 621.87

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРМІВ ВРХ

**М. П. ФЛОРЧУК**, студент магістратури  
**В. С. ЛОВЕЙКІН**, д.т.н., проф., **А. П. ЛЯШКО**, к.т.н., доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Динамічний аналіз гвинтового конвеєра для транспортування кормів ВРХ (рис.1) проведено з використанням двомасової моделі.

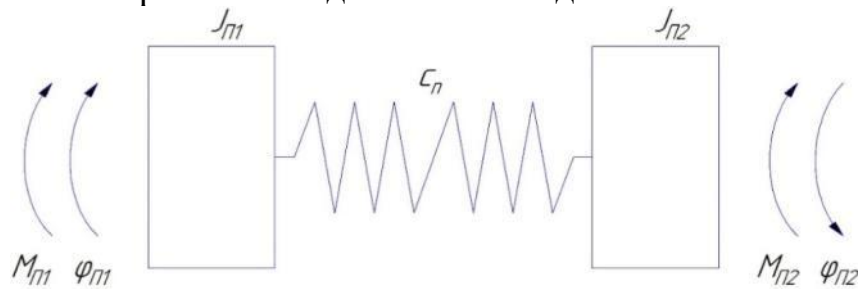


Рис.1. Динамічна модель гвинтового конвеєра для транспортування  
кормів ВРХ

Тут  $J_{п1}, J_{п2}$  – моменти інерції відповідно першої та другої зведених мас;  $M_{п1}, M_{п2}$  – зведені до осі пружної муфти рушійний момент приводу та момент сил опору, що діють на робочий орган гвинтового конвеєра;  $C_n$  – коефіцієнт жорсткості пружної муфти;  $\varphi_1, \varphi_2$  – узагальнені координати першої та другої зведених мас динамічної моделі. В такій моделі перша маса представляє привод конвеєра, а друга – шнек з кормом для ВРХ. Шляхом використання рівнянь Лагранжа другого роду для розробленої динамічної моделі складено диференціальні рівняння руху гвинтового конвеєра, які описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Для розв’язування такої системи рівнянь складено комп’ютерну програму. За допомогою цієї ж програми розраховані кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики руху гвинтового конвеєра. На рис.2 представлено графічну залежність

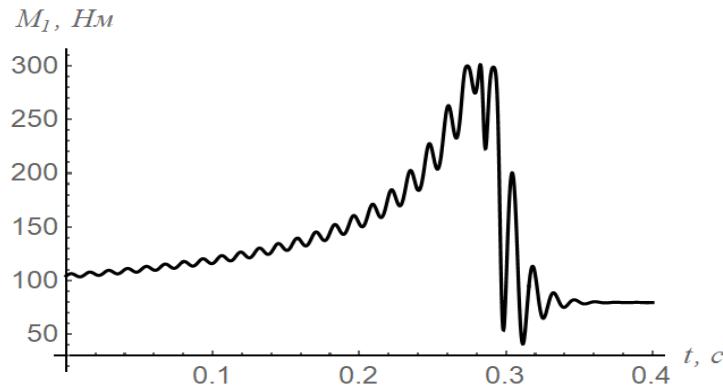


Рис.2. Графік зміни рушійного моменту приводу

З рис.2 видно, що рушійний момент змінюється в коливальному режимі, а перевантаження двигуна становить 3,7, що перевищує встановлену норму.

УДК 621.87

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНА

А. С. МУХОЇД, студент магістратури.

В. С. ЛОВЕЙКІН, д.т.н., проф., А. П. ЛЯШКО, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для динамічного аналізу механізму підйому вантажу мостового крана використано двомасову динамічну модель з поступальним рухом мас. Причому маси динамічної моделі зведені до канату, що намотується на барабан. Перша маса в цій динамічній моделі відображає приводний механізм з барабаном, а друга маса представляє вантаж, захватний пристрій і поліспаст. На основі цієї моделі побудовано математичну модель, яка представляє собою систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку

$$\begin{aligned} m_{\Pi 1} * \ddot{x}_1 &= F_{\Pi 1} - c_{\Pi} * (x_1 - x_2); \\ m_{\Pi 2} * \ddot{x}_2 &= -F_{\Pi 2} + c_{\Pi} * (x_1 - x_2). \end{aligned} \quad (1)$$

В цій моделі прийняті такі позначення:  $m_{\Pi 1}, m_{\Pi 2}$  — зведені маси відповідно приводного механізму та вантажу з захватним пристроєм;  $F_{\Pi 1}, F_{\Pi 2}$  — рушійна сила приводу та сила опору переміщення вантажу, зведені до канату, що намотується на барабан;  $c_{\Pi}$  — коефіцієнт жорсткості поліспаста;  $x_1, x_2$  — координати центрів мас першої та другої зведених мас динамічної моделі.

Рушійний момент приводу визначається зі статичної механічної характеристики за формулою Клосса. Нелінійність рівнянь (1) викликана нелінійністю формули Клосса.

В результаті чисельного розв'язування рівнянь (1) за допомогою розробленої комп'ютерної програми визначені кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики механізму підйому мостового крана.

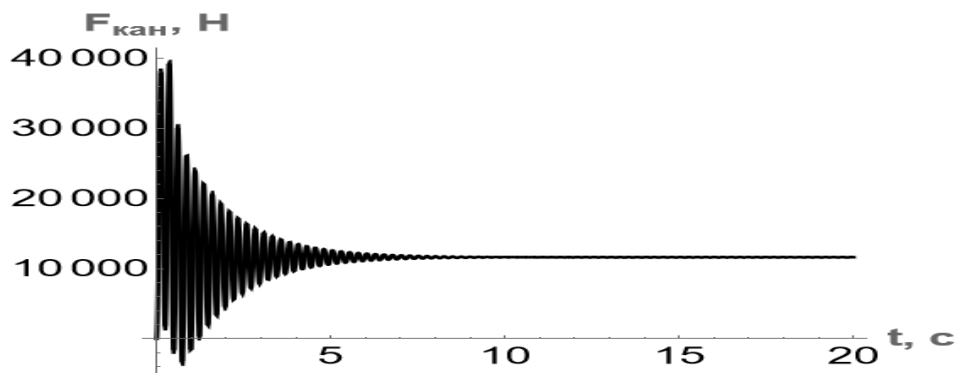


Рис.1. Графі зміни зусилля в тяговому канаті поліспасти

Зусилля в канаті змінюється в коливальному режимі і його максимальне значення в 4 рази перевищує усталене значення. Коливання затухають через 10 с руху механізму підйому вантажу.

УДК: 631.331.85

## ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**І. В. КАРП**, аспірант

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*

*E-mail: ivankarpv@gmail.com*

Для переміщення зернових матеріалів у процесі їх післязбиральної обробки для просушування вологого зерна у місцях зберігання, застосовують транспортні механізми, які призначені для переміщення зерна з насипної кучі на інше вільне місце току..

Для забезпечення виконання таких робіт у великих спеціалізованих агрофірмах застосовують потужні пневматичні конвеєри продуктивністю до 200...250 т/год, які переміщують зерно в горизонтальному напрямку на віддаль до 100 м і більше, або у вертикальному напрямку – на висоту підйому до 30 м, а застосування таких пневматичних конвеєрів є рентабельним за значного валового виробництва зернової продукції.

В умовах функціонування багатогалузевих фермерських господарств, які

збирають зернові культури на незначних площах (30...100 га) та виконання незначного обсягу післязбиральної доробки зібраного урожаю на токах, актуальним завданням є питання окупності потужних транспортних механізмів за у зв'язку з їх незначним сезонним завантаженням виконаних робіт.

Шляхами вирішення цього важливого техніко-економічного завдання є розробка та застосування малогабаритних і мобільних шнекових транспортерів, які призначені для переміщення вологих зернових матеріалів у процесі їх післязбиральної доробки (природнього просушування на площадках зернових токів) або виконання незначного обсягу транспортних робіт, які притаманні багатогалузевим фермерським господарств аграрного сектору України.

Застосування таких шнекових транспортерів для виконання транспортних робіт на зернових токах багатогалузевих фермерських господарств дозволить значно підвищити техніко-економічні показники вирощування зернових культур.

Основними базовими вузлами шнекового транспортера є рама, на якій встановлено електродвигун, клинопасову передачу та горизонтальний кожух, в просторі якого розміщено гвинтовий конвеєр, який являє собою барабан, на якому по гвинтовій лінії закріплено спіральні витки.

Крок спіральних витків збільшується в сторону переміщення зернового матеріалу, або в сторону вивантажувального шибера.

Завантажений у бункер зерновий матеріал надходить в простір кожуха та до гвинтового конвеєра, який за рахунок свого обертання переміщує зерновий матеріал вздовж горизонтальної осі обертання до вихідного отвору, де зерновий матеріал останнім витком вивантажується з порожнини кожуха.

Продуктивність шнекового транспортера  $W_{isc}$ , яка рівнозначна продуктивності гвинтового конвеєра у загальному випадку під час транспортування зернового матеріалу визначається за формулою

$$W_{isc} = \rho_m S_v V_{ic} \mu_n, \quad (1)$$

де  $S_v$  – площа поперечного перерізу потоку зернового матеріалу, м<sup>2</sup>;  $V_{ic}$  – середня швидкість осьового переміщення зернового матеріалу спіральними витками  $i$ -го кроку  $T_{is}$  гвинтового конвеєра, м/с;  $\mu_n$  – коефіцієнта технологічної подачі гвинтового конвеєра.

Після визначення складових (1), отримано кінцеву залежність для визначення продуктивності шнекового транспортера

Для практичного застосування визначення розрахункової продуктивності шнекового транспортера  $W_{isc}$  (кг/хв)

$$W_{isc} = 0,5\pi n_s \rho_m (T_{is} - \delta_n) k_\alpha k_y \left[ (D_k + 2c_s)^2 - d_\sigma^2 \right] \left[ \frac{D_k^2}{(D_k + 2c_s)^2} \left( \frac{\delta_n z_n}{D_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_{Ti})} \Phi \right) - \lambda \right], \quad (2)$$



де  $\Phi = \cos \arctg \frac{2\pi D_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_{Ti})}{D_k + d_\sigma}$ ;  $n_s$ ,  $D_k$ ,  $d_\sigma$  – частота обертання (об/хв), зовнішній діаметр (м) та діаметр барабана (м) гвинтового конвеєра.

Згідно з (2) побудовано графічне відтворення залежності зміни продуктивності  $W_{isc}$  шнекового транспортера як функція  $W_{isc} = f_W(D_k; n_s)$ .

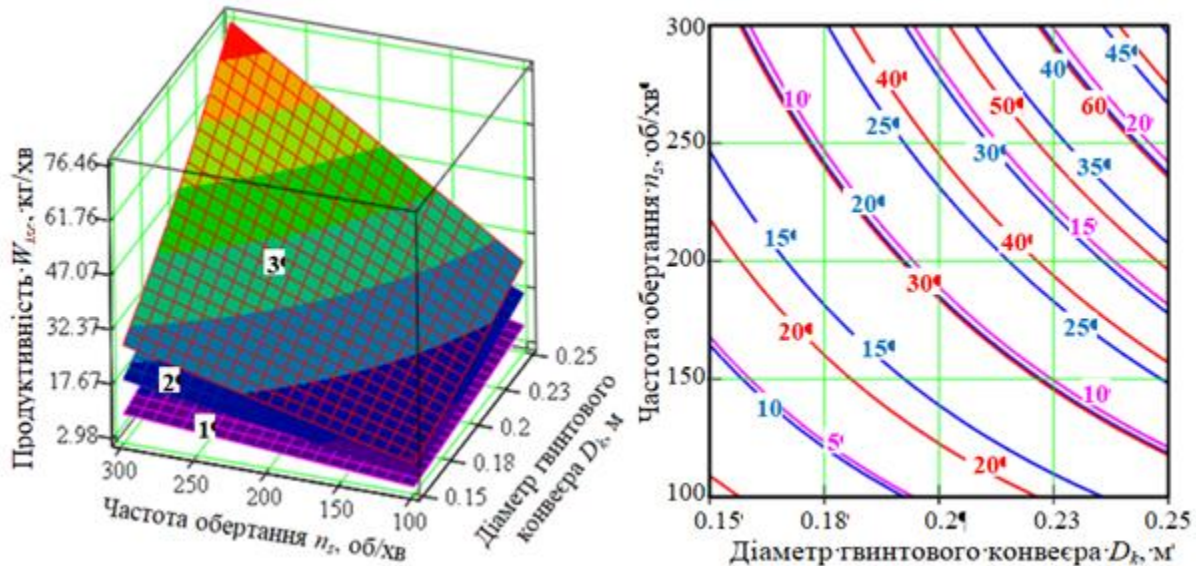


Рис. 1. Залежність та її двомірний переріз зміни продуктивності  $W_{isc}$  шнекового транспортера як функція  $W_{isc} = f_W(D_k; n_s)$  за значення  $i$ -го кроку спіральних витків гвинтового конвеєра: 1 –  $T_{1s} = 5$  см; 2 –  $T_{2s} = 10$  см; 3 –  $T_{3s} = 15$  см

Встановлено, що розрахована на аналітичному рівні продуктивність  $W_{isc}$  шнекового транспортера знаходиться в діапазоні від 3,0 до 76,5 (кг/хв) в межах зміни діаметра  $D_k$  гвинтового конвеєра 0,15...0,25 м, частоти обертання  $n_s$  гвинтового конвеєра 100...300 об/хв за значення зміни кроку спіральних витків гвинтового конвеєра  $T_{is} = 5, 10$  і 15 см.

Необхідні витрати потужності  $P_{isc}$  (Вт/с) для виконання процесу транспортування зернового матеріалу витками  $i$ -го кроку гвинтового конвеєра шнековим транспортером за час його роботи  $t = 1$  с, є сумою потужностей, які затрачуються: на переміщення зернового потоку  $P_{zn}$ , Вт/с; на подолання опору тертя зернового матеріалу об внутрішню поверхню кожуха  $P_{mk}$ , Вт/с; на подолання опору тертя зернового матеріалу об робочі поверхні гвинтового конвеєра (спіральний виток та труби)  $P_{me}$ , Вт/с; на подолання внутрішнього опору транспортуючого зернового матеріалу  $P_{mz}$ , Вт/с, або:

$$P_{isc} = P_{zn} + P_{mk} + P_{me} + P_{mz}; \quad (3)$$

$$P_{isc} = \left( 0,5\pi n_s \rho_m (T_{is} - \delta_n) k_\alpha k_y \left[ (D_k + 2c_s)^2 - d_\theta^2 \right] \times \right. \\ \left. \times l_s \left[ \frac{D_k^2}{(D_k + 2c_s)^2} \left( \frac{\delta_n z_n}{D_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_{Ti})} \Phi \right) - \lambda \right] \right) \times \\ \times \left[ 1 + f_k + 30(1 + f_k) f_s \frac{D_k^2 r_s}{T_{is} - \delta_n} + \frac{\pi D_k f_k}{(T_{is} - \delta_n)} (1 - K_g) \right] \quad (4)$$

Згідно з (4) побудовано графічне відтворення залежності зміни витрат потужності  $P_{isc}$ , які витрачаються на транспортування зернового матеріалу спіральними витками  $i$ -го кроку  $T_{is}$  гвинтового конвеєра як функція  $P_{isc} = f_P(D_k; n_s)$ .

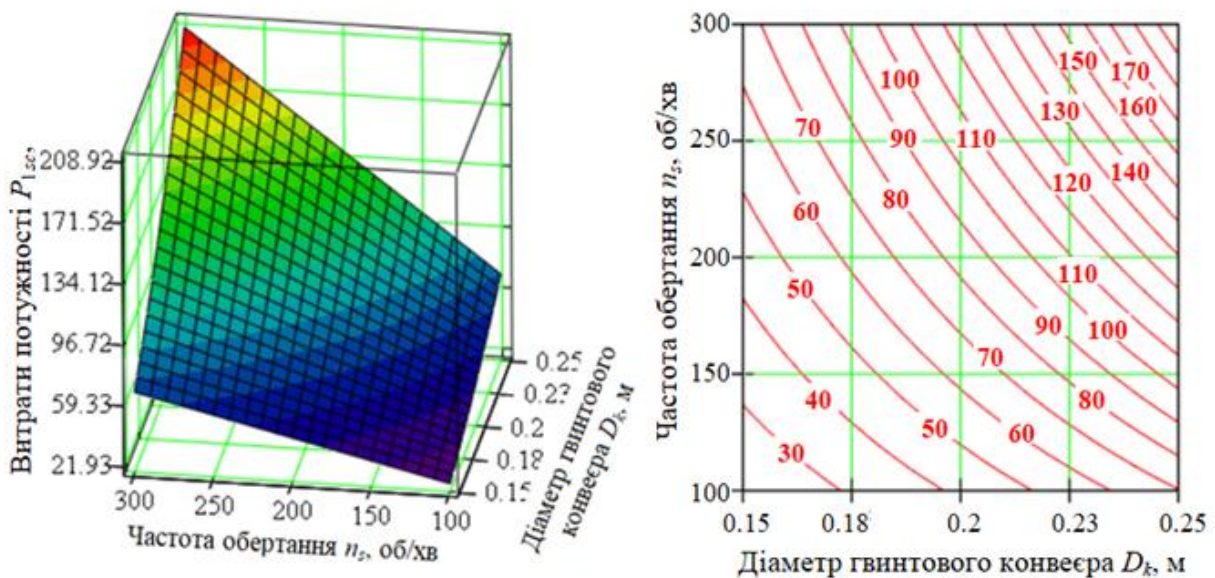


Рис. 2. – Залежність та двомірний переріз залежності зміни витрат потужності  $P_{isc}$  при транспортуванні зернового матеріалу шнековим транспортером як функція  $P_{isc} = f_P(D_k; n_s)$  за кроку спіральних витків  $T_{1s} = 5,0$  см

Встановлено, що розраховані на аналітичному рівні витрати потужності  $P_{isc}$  шнекового транспортера за зміни зовнішнього діаметра  $D_k$  гвинтового конвеєра 0,15...0,25 м та частоти обертання  $n_s$  гвинтового конвеєра 100...300 об/хв знаходиться в діапазоні від 22,0 до 208,0 Вт/хв за значення зміни кроку спіральних витків гвинтового конвеєра  $T_{1s} = 5$  см.

***Секція 6 «Новітні матеріали і технології в  
сільськогосподарському  
машинобудуванні»***

UDC 631.8

## TECHNOLOGY FOR OBTAINING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TRACE ELEMENT PREPARATIONS FOR CROP PRODUCTION BY ELECTRIC SPARK TREATMENT OF METALS

K. G. LOPATKO, O. V. ZAZYMKO

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

E-mail: lopatko\_konst@hotmail.com; zazymko\_oks@nubip.edu.ua;

Modern technologies for growing field crops are often based on high standards for mineral fertilizers and chemical plant protection products, which increase production costs and the environmental burden on the agricultural sector. A promising direction is the use of nanomaterials as a source of biogenic trace elements, which allows reducing the dosage of active ingredients while maintaining or increasing agrotechnical efficiency compared to traditional forms, such as salt- or chelated-based formulations.

In this study, a technology for obtaining aqueous dispersions of biogenic metal nanoparticles via electrosark treatment and a method for assessing the effectiveness of a complex trace element preparation in the cultivation of winter wheat have been developed.

Metal nanoparticles were obtained by electric spark dispersion/erosion in weakly conductive liquid media at a technological installation that includes a discharge pulse generator with a capacitive energy storage, a parameter control unit, and a discharge chamber. For field tests, a complex preparation based on aqueous dispersions of metals with the following concentrations: Fe - 1800 ppm; Cu - 400 ppm; Zn - 1000 ppm; Mn - 800 ppm. The application rate of the drug was 1.0–1.5 l/ha with a dilution of 250 liters of water. Treatment of winter wheat crops was carried out at different stages of organogenesis. Such morphological indicators (root length, leaf length, and area), biochemical indicators of green mass, and grain quality indicators after harvest were evaluated.

In the initial phases of vegetation, vegetative mass increased by 10–15 % compared to the control, and at full ripeness, the difference was at least 30 %. Laboratory screening of the final crop showed increases of 7.5% in green mass protein content, 2.5 times in grain gluten content, and 33% in yield. According to the results of the production and economic assessment, this technology increases the profitability of wheat cultivation by about 10-15%.

The electrosark treatment of metals is a technologically suitable method for obtaining aqueous dispersions of nanoparticles of biogenic metals without the use of any chemical reagents.

The results of the studies showed that a complex microelement preparation (Fe, Cu, Zn, Mn) in nanoform at a rate of 1.0–1.5 l/ha increased plant biometric parameters and improved grain quality and yield (up to +33%).

The proposed technology is economically feasible and can be recommended as an element of resource-saving and ecologically oriented crop production systems.

УДК 621.936-61

## ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО З ДОБАВКАМИ

С. М. ГЕРУК, к.т.н., доц., ст.наук співр; С. М. ХОМЕНКО к.т.н.  
*Житомирський агротехнічний фаховий коледж*  
E-mail: mega\_sgeruk@ukr.net

*Представлено результати досліджень економічної ефективності роботи дизельного двигуна на суміші дизельного пального з добавками ріпакової олії та етанолу. Отримано коефіцієнт пропорційності для витрати палива, який дозволяє в експлуатації нормувати витрати дизельного палива в залежності від концентрації альтернативних палив.*

**Постановка проблеми.** У зв'язку з вичерпністю світових запасів нафти та поглибленням екологічної кризи все більш актуальним стає питання щодо залучення нетрадиційних екологобезпечних джерел енергії для використання як моторних палив для автотранспорту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомо, що витрата палива є інтегральним показником технічного стану двигуна [1, 2], яка суттєво впливає на собівартість автотранспортних робіт. З огляду на екологічну оцінку альтернативних палив на основі проаналізованих останніх досліджень та публікацій [1-4], науковий інтерес викликає модель витрати суміші дизельного пального з різною концентрацією ріпакової олії та етанолу.

**Постановка завдання.** Мета досліджень полягала в підвищенні економічних параметрів двигунів внутрішнього згоряння шляхом удосконалення нормування витрати дизельного палива з добавками ріпакової олії та етанолу. Відповідно до поставленої мети необхідно провести дослідження зміни витрати суміші дизельного палива з добавками альтернативних палив різних концентрацій.

**Результати досліджень.** Основне рівняння витрати палива для дизельного двигуна при роботі на дизельному паливі [2] має вигляд:

$$Q_{\text{дл}} = \frac{1}{\eta_i} \left[ A_{\text{дл}}^3 + \hat{A}_{\text{дл}}^2 V_{\text{дл}} + C(G_{\text{дл}} \psi + 0,077 k F V_{\text{дл}}^2) \right], \quad (1)$$



де  $Q_{дл}$  – витрати палива для дизельного двигуна, л/ 100км;  $A_o, B_o, C$  – коефіцієнти;  $i_k$  – передаточне число коробки передач;  $V_a$  – швидкість двигуном, км/год;  $G_a$  – вага двигуном, Н;  $\psi$  – сумарний опір дороги;  $k$  – коефіцієнт обтічності, Нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $F$  – лобова площа с.г.техніки, м<sup>2</sup>.

Для дизельного двигуна:

$$A_o = \frac{381V_h i_o}{Hu \rho_T r_K}; \quad (2)$$

$$B_o = \frac{11V_h S_n i_o^2}{Hu \rho_T r_K^2}; \quad (3)$$

$$C = \frac{100}{Hu \rho_T \eta_{TP}}, \quad (4)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;  $i_o$  – передаточне відношення головної передачі;  $Hu$  – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;  $\rho_T$  – густина палива, кг/л;  $r_K$  – радіус кочення колеса, м;  $S_n$  – хід поршня, м;  $\eta_{TP}$  – ККД трансмісії.

При русі на різних передачах  $i_k$  та  $\psi$  в (1) можуть визначатися як середньозважене передавальне число і середній сумарний опір дороги, які з достатньою точністю зв'язані рівнянням [2]:

$$i_k = \frac{r_K G_a}{M_{об} K_3 \eta_{TP} i_o} \psi, \quad (5)$$

де  $M_{об}$  – максимальний момент двигуна, Нм;  $K_3$  – коефіцієнт експлуатаційного зниження моменту (для середніх умов експлуатації складає 0,38...0,4).

В практичних розрахунках для дизельного палива можна прийняти  $Hu_{дл} = 42,5$  МДж/кг, для ріпакової олії (при  $C = 0,77$ ;  $H = 0,12$ ;  $O = 0,11$ ) нижча теплота згоряння буде дорівнювати  $Hu_{ро} = 36,0$  МДж/кг [3], а для етанолу  $Hu_E = 25,1$  МДж/кг [4]. Тоді для суміші з концентрацією ріпакової олії  $K$  і етанолу  $K_E$  нижча теплота згоряння може бути визначена:

$$\begin{aligned} Hu_{дл+ро+Е} &= Hu_{дл}(1 - K - K_E) + Hu_{ро}K + Hu_E K_E = \\ &= Hu_{дл}(1 - 0,153K - 0,409K_E). \end{aligned} \quad (6)$$

Для подальших розрахунків густину дизельного палива приймаємо рівною 825 кг/м<sup>3</sup>, густину ріпакової олії - 920 кг/м<sup>3</sup> [3], а густину етанолу - 789 кг/м<sup>3</sup> [4]. Тоді густину суміші можна буде знайти за формулою:

$$\begin{aligned}\rho_{ДП+РО+Е} &= \rho_{ДП}(1-K-K_E) + \rho_{РО}K + \rho_E K_E = \\ &= \rho_{ДП}(1+0,115K-0,044K_E).\end{aligned}\quad (7)$$

Для зручності подальших розрахунків кожній суміші палив присвоїмо порядковий номер, який відповідає концентрації сумішей (табл.1).

Таблиця 1. Склад сумішей дизельного палива, ріпакової олії та етанолу

| Концентрація                     | № суміші |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  | 1        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
| Ріпакової олії, K                | 0        | 0,09 | 0,18 | 0,27 | 0,36 | 0,45 | 0,54 | 0,63 | 0,72 | 0,81 | 0,90 |
| Етилового спирту, K <sub>E</sub> | 0        | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 |

Зміну нижчої теплоти згоряння суміші палив в залежності від концентрації ріпакової олії і етанолу можна представити в табл. 2, з якої видно, що при зростанні концентрації ріпакової олії та етанолу нижча теплота згоряння суміші дизельного палива, ріпакової олії та етанолу зменшується в діапазоні 42,5...34,9 МДж/кг, а густина збільшується 0,825...0,907 кг/л. При цьому введення етанолу в суміш призводить до зменшення густини та нижчої теплоти згоряння суміші

Таблиця 2. Зміна густини та нижчої теплоти згоряння палива

| № суміші                    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Н <sub>ДП+РО</sub> , МДж/кг | 42,50 | 41,74 | 40,98 | 40,22 | 39,46 | 38,70 | 37,95 | 37,19 | 36,43 | 35,67 | 34,91 |
| Г <sub>ДП+РО+Е</sub> , кг/л | 0,825 | 0,833 | 0,841 | 0,850 | 0,858 | 0,866 | 0,874 | 0,882 | 0,890 | 0,899 | 0,907 |

Оскільки в кожному знаменнику (1) знаходяться нижча теплота згоряння та густина палива, то з урахуванням (6) і (7), рівняння (1) можна представити у вигляді рівнянь (8) - (9):

$$\begin{aligned}Q_{ДП+РО+Е} &= \frac{1}{(1-0,153K-0,409K_E)(1+0,115K-0,044K_E)} \cdot \frac{1}{\eta_i} \cdot \\ &\cdot \left[ A_{\theta} i_{\kappa} + B_{\theta} i_{\kappa}^2 V_a + C(G_a \psi + 0,077kFV_a^2) \right].\end{aligned}\quad (8)$$

$$Q_{ДП+РО+Е} = \frac{1}{(1-0,153K-0,409K_E)(1+0,115K-0,044K_E)} Q_{ДП}, \quad (9)$$

$$I_{гДП+РО+Е} = \frac{1}{(1-0,153K-0,409K_E)(1+0,115K-0,044K_E)}. \quad (10)$$

Тоді рівняння (9) запишемо у вигляді:

$$Q_{ДП+РО+Е} = I_{гДП+РО+Е} \cdot Q_{ДП}, \quad (11)$$

Для зручності подальших розрахунків кожній суміші палив присвоїмо порядковий номер, який відповідає концентрації сумішей (табл.1).

Таблиця 3. Значення коефіцієнта зростання витрати палива  $I_{гдп+ро}$  у залежності від концентрації ріпакової олії

| К, %         | 0 | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I_{гдп+ро}$ | 1 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,06 |

Таблиця 4. Значення коефіцієнта зростання витрати палива  $I_{гдп+ро+е}$  у залежності від концентрації ріпакової олії та етанолу

| № суміші       | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| К              | 0 | 0,09 | 0,18 | 0,27 | 0,36 | 0,45 | 0,54 | 0,63 | 0,72 | 0,81 | 0,9  |
| К <sub>е</sub> | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1  |
| $I_{гдп+ро+е}$ | 1 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,09 | 1,11 |

**Висновки.** Удосконалено математичну модель витрати палива дизельним двигуном з урахуванням концентрації альтернативного палива та отримано коефіцієнт пропорційності між витратою палива двигуном, що працює на дизельному паливі, та двигуном, що працює на дизельному паливі з різним вмістом ріпакової олії та етанолу.

### Список літератури

1. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. - М.: Транспорт, 1990. - 133с.
2. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко - изд. 2-е, перераб. и дополн. - Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. - 468с.
3. Редзюк А.М. Проблеми та перспективи використання рослинної олії як моторного палива / А.М. Редзюк, В.О. Рубцов, Ю.Ф. Гутаревич // Автошляховик України. - 1999. - № 1. - С. 4 - 6.
4. Гутаревич Ю.Ф. Етиловий спирт як моторне паливо / Ю.Ф. Гутаревич, А.Г. Говорун, А.О. Копач, О. А. Сябро // Автошляховик України. - 1999. - № 1. - С. 7 - 10.

УДК:621.771

## НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

**А. К. АВТУХОВ**, доктор технічних наук, професор  
**Є. В. КОВАЛЕВСЬКИЙ**, аспірант  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Продуктивність прокатного виробництва та собівартість прокату безпосередньо залежать від якості й експлуатаційної стійкості прокатних валків. У виробництві формуючих інструментів гарячої прокатки широко застосовується хромонікелевий чавун, зокрема для кулько- та сортопрокатних валків, а також для робочого шару листопрокатних валків. Двошарові хромонікелеві валки ефективно використовуються у клітинах безперервних, напівбезперервних, широкосмугових і товстолистових станів[1]. Підвищення ресурсу валків реалізується шляхом оптимізації складу чавунів, удосконалення технології виливки та термообробки.

Для оцінки ресурсу валків застосовують систему показників: твердість поверхні, напрацювання за період експлуатації, величину знімання металу при перешліфуванні, кількість установок, середній наробіток на 1 мм знятого шару тощо.

Враховуючи те, що вихідні дані містять інформацію за різні періоди досліджень, то виникає необхідність перевірки можливості об'єднання різних вибірок в одну для можливості формування статистичних гіпотез [2].

Для визначення можливості об'єднання вибірок експлуатаційних характеристик прокатних валків за різний термін часу доцільно розглядати два варіанти підходів: 1 – якщо для аналізу даних потрібно використання функцій розподілу випадкової величини, наприклад, для ймовірнісної оцінки ресурсу валків, то в цьому випадку необхідна наявність однорідності двох вибірок, тобто рівність функцій розподілу; 2 – якщо для аналізу даних достатньо використовувати лише статистики випадкової величини (середнє значення аналізованої величини, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації), наприклад, при розгляді кількості установок за період експлуатації валка, то в цьому випадку можна використовувати методику перевірки гіпотези про рівність середніх значень довільної величини.

Перевірку гіпотези про однорідність двох вибірок рекомендується виконувати за наступною методикою: вся в сукупність з двох вибірок поділялася на інтервали, потім у двох масивах по цих інтервалах визначається кожна вибірка окремо і обчислюється критерій перевірки гіпотези по залежності, що враховує обсяг першої та другої вибірок; частоту в інтервалі для першої та другої вибірок; кількість інтервалів розбиття сукупної вибірки.

Для перевірки гіпотези про вид розподілу доцільно використовувати критерій Колмогорова, послідовність обчислень при використанні цього критерію наступна: вибірка розбивається на інтервали та визначається експериментальне накопичені частоти; розраховується теоретичне накопичення частоти виходячи з пропонованого виду розподілу, параметри якого розраховані за вихідними даними; визначається максимальна різниця між накопиченими теоретичними та експериментальними частотами у відповідному інтервалі; обчислюється параметр  $D_{\max} = (m_t - m_e)/n$ , а потім критерій  $= D_{\max} \sqrt{n}$ . За відповідними таблицями для критерію визначається ймовірність  $P(\lambda)$  того, що гіпотетична функція розподілу не суперечить вибірковим даним.

Запропонована методика дозволяє обґрунтовано об'єднувати вибірки даних та підвищувати точність статистичних висновків.

### **Висновок**

Застосування розробленої методики забезпечує достовірний статистичний аналіз впливу технологічних і експлуатаційних параметрів на ресурс прокатних валків та створює основу для підвищення ефективності роботи станів гарячої прокатки.

### **Список використаних джерел**

1. Производство и применение прокатных валков : справочник / Т. С. Скобло и др. Ред. Т. С. Скобло. Харьков, 2013. ЦД № 1. 572 с.
2. Автухов А.К., Ковалевський Є.В. Розробка методики дослідження технологічних та експлуатаційних характеристик формуючих інструментів станів гарячої прокатки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів* 2024, № 25 с. 43-49

**УДК 621.74.046**

## **СТАЛІ ЛЕГОВАНІ ВАНАДІЄМ**

**Г. М. ПОХИЛЕНКО**, старший викладач  
**Національний університет біоресурсів і природокористування України**  
E-mail: [pokhilenko@nubip.edu.ua](mailto:pokhilenko@nubip.edu.ua)

Ванадій (V) є 17-м найпоширенішим елементом у земній корі та широко використовується як легуючий елемент в сталях.

Близько 85% виробленого ванадію використовується як ферованадій або як добавка до сталі. Значне підвищення міцності сталі, що містить невелику кількість ванадію, було виявлено ще на початку 20 століття.



Ванадій є кращим легуючим елементом під час виробництва сталі завдяки його простоті використання під час виробництва сталі, високому ступеню відновлення елемента під час додавання, хорошім ливарним властивостям легованої ванадієм сталі, високій розчинності ванадію під час повторного нагрівання литої сталі, хороші властивості для прокатування легованої ванадієм сталі, зберігання механічних властивостей при нагріванні сталі.

Ванадієва сталь використовується для виготовлення осей, велосипедних рам, колінчастих валів, шестерень та інших важливих компонентів. Існує дві групи легованих ванадієм сталей. Ванадієві високовуглецеві сталі, що містять від 0,15% до 0,25% V, та швидкорізальні інструментальні сталі (HSS). Швидкорізні інструментальні сталі можуть мати твердість вище HRC 60.

Ванадій використовується в конструкційних високоміцних легованих сталях (HSLA) вже давно, і був першим мікролегуючим елементом (за винятком алюмінію). Ванадій окремо та разом з іншими мікролегуючими елементами, такими як алюміній, ніобій та титан, надає додаткової міцності марганцевим конструкційним сталям шляхом утворення карбідів та нітридів, що безпосередньо зміцнюють сталь шляхом осадження або опосередковано через механізми, що призводять до подрібнення розміру феритового зерна.

Подрібнення зерна підвищує низькотемпературну в'язкість сталей HSLA. У деяких випадках, наприклад, при додаванні алюмінію, карбіди ванадію та інших мікролегуючих елементів підсилюють один одного у своєму впливі на сталь. карбід ніобію дозволяє отримати дрібний розмір зерна, а карбонітрид ванадію сприяє дисперсійному зміцненню.

У ванадійовмісних високолегованих сплавах з низькою міцністю двома основними факторами, що впливають на міцність і в'язкість, є розмір зерна фериту та дисперсійне зміцнення. Існує чіткий зв'язок між вмістом ванадію (та азоту) та розміром зерна фериту, розмір зерна фериту залишається постійним у досить широкому діапазоні температур. Збільшення вмісту ванадію та азоту також збільшує як межу текучості, так і межу міцності на розтяг завдяки дисперсійному зміцненню. Хоча на міцність можуть впливати такі параметри, як швидкість охолодження та температура перетворення, це загалом правильно для сталей з широким діапазоном вмісту вуглецю.

Зменшення розміру феритового зерна, як правило, покращує в'язкість сталей HSLA. З іншого боку збільшення дисперсійного зміцнення підвищує температуру ударного переходу приблизно на 3–4 °C на кожні 100 кг/см<sup>2</sup> збільшення границі текучості. Також цікаво відзначити, що у сталях, що містять ванадій, навіть з високим вмістом азоту, не спостерігається деформаційного старіння через азот, за умови, що співвідношення ванадію до азоту підтримується на рівні або вище стехіометричного співвідношення 4:1.

Конкретна роль різних карбідів та нітридів у будь-якій сталі контролюється головним чином співвідношенням температурного діапазону, в якому вони утворюються, до температури  $A_{r3}$ . Коли присутній більше одного легуючого елемента, елемент, який утворює карбід або нітрид за найвищої

температури, домінує в структурі та в своєму впливі на властивості, оскільки сполуки, присутні за високих температур, мають переважний вплив на структуру зерна порівняно з тими, що утворюються за нижчих температур, та має першими взаємодіяти з вуглецем та азотом в сталі.

Присутність ванадію, навіть у невеликих концентраціях, позитивно впливає на високолеговані хромомолібденові сталі. Ванадій зменшує час процесу затвердіння цих легованих сталей, звужуючи температурний інтервал кристалізації. Зокрема, кристали карбідів  $V_6C_5$  утворюються під час відділення первинного аустеніту із розчину, блокуючи подальший ріст дендритів аустеніту та сприяючи утворенню дрібнозернистих структур. Окрім утворення карбідів  $V_6C_5$ , подібно до молібдену, ванадій частково розподілений між присутніми фазами в сталі, а саме карбідом  $(Cr,Fe)_7C_3$  та аустенітом. Присутність ванадію сприяє утворенню карбіду  $(Cr,Fe)_{23}C_6$  та його осадженню в аустеніті під час процесу охолодження. У локальних областях навколо дрібних карбідних частинок аустеніт перетворюється на мартенсит. Іншими словами, ванадій зменшує залишковий аустеніт і покращує гартування сталі на повітрі. Концентрація ванадію вище 2,5% значно покращує ударну в'язкість.

**УДК 621.314: 621.374: 621.9.048.4**

## **ВИКОРИСТАННЯ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ У МОТОРНИХ МАСЛАХ**

**К. Г. ЛОПАТЬКО, М. Ю. МРУЧОК, В. С. СОСНОВ**  
*НУБіП України*

Фізико-хімічні властивості та реакційна здатність матеріалу в нанорозмірному стані викликає значний інтерес дослідників, оскільки дисперсний стан речовини характеризується істотною зміною та появою нових властивостей, що не притаманні речовині, яка перебуває в об'ємному стані. На сьогоднішній день накопичено значний науковий потенціал за різними методами та способами одержання наноматеріалів відповідних металів або їх сплавів, цілеспрямованого модифікування різних речовин отриманими наночастинками для покращення експлуатаційних характеристик технічних систем.

Розглядається можливість введення частинок заліза та/або цинку у моторні масла для підвищення протизадирної дії та зменшення зносу контактуючих деталей зі сплавів на основі заліза, які є основними об'єктами зносу у двигуні. Подібний підхід реалізується присадками торгових марок «MEGAFORCE» та «NANOPROTEC».

Використання дисперсних частинок металів створює умови для укріплення поверхонь тертя деталей двигуна наномодифікованим захисним шаром, який має низький коефіцієнт тертя, високою зносостійкістю і здатний утримувати збільшену кількість масла. Сформований захисний шар значно знижує інтенсивність зношування найбільш навантажених деталей тертя, які визначають ресурс двигуна. Крім того, оброблені поверхні краще утримують масло, що захищає двигун у моменти масляного голодування при перегріваннях, активній їзді та аварійній втраті масла.

Сезон 2026 року нагадав про тривалі низькі температури, коли запуск двигуна є проблемною процедурою що додатково зменшує його ресурс. Використання вказаних присадок (модифікаторів) сприятиме полегшенню запуску та захисту від холодного пуску – оброблені поверхні здатні утримувати масляний шар при тривалому простої двигуна у вимкненому стані. Це полегшує здійсненню перших оборотів і запобігає підвищеному зносу двигуна при масляному голодуванні в момент запуску, що особливо актуально при негативній температурі навколишнього середовища.

Очікується, що наночастинки заліза будуть сприяти не тільки утворенню захисного шару, а й формувати вторинні структури на зношених поверхнях деталей, повністю або частково компенсуючи величину зносу, забезпечуючи збільшення ресурсу двигуна.

**УДК 338.45**

## **УКРАЇНСЬКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ: СТРАТЕГІЯ ЗРОСТАННЯ В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ КОНТЕКСТІ**

**М. О. САМОФАЛОВА**, к.е.н., доцент,  
*ЗВО «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»*  
E-mail: [marija.samofalova@gmail.com](mailto:marija.samofalova@gmail.com)

Машинобудування відіграє фундаментальну роль у формуванні технологічної бази економіки. Однак, сучасне середовище, позначене глобалізацією, стрімким технологічним розвитком та зростанням конкурентного тиску, змушує підприємства цієї галузі переглядати свої усталені стратегії. Для досягнення кращої ефективності та стимулювання інноваційної діяльності потрібні нові, більш гнучкі підходи. Одним із таких ефективних шляхів є інтеграція та диверсифікація машинобудівних підприємств. Це дозволяє не тільки оптимізувати виробничі ланцюжки, але й сприяє більш швидкому впровадженню передових рішень та зміцненню позицій на ринку.

Євроінтеграція України відкриває перед вітчизняними машинобудівниками як нові перспективи, так і значні виклики.

Першочерговим завданням є приведення технічних норм та стандартів у відповідність до вимог ЄС, що передбачає впровадження близько 20 європейських стандартів до 2028 року [1], після завершення аналізу українського законодавства. Водночас, існує ймовірність запровадження захисних заходів, таких як мита, з боку країн ЄС у разі значного зростання імпорту української агротехніки, особливо зважаючи на минулорічні втрати від експортних обмежень (2,2 млрд євро, переважно через аграрний сектор) [2]. Отже, для успішної конкуренції на європейському ринку українським машинобудівним підприємствам необхідно модернізувати виробництво, оптимізувати ланцюги постачання та адаптуватися до нових умов.

Попередні дослідження [3] вже виявили негативну динаміку в українському агромашинобудуванні: значне скорочення виробництва та експорту при одночасному збільшенні імпорту. Основними факторами ризику є наслідки війни (зруйновані заводи, втрачені ринки) та жорстка конкуренція з іноземними виробниками, що посилюється євроінтеграцією (необхідність дотримання європейських стандартів та потенційні захисні мита). Водночас, євроінтеграція також створює нові перспективи: доступ до великого європейського ринку, програми співпраці та інвестиції для модернізації.

Основними стратегічними кроками щодо ведуть до зростання українського машинобудування вважаємо:

- покращення інвестиційного клімату та фінансової підтримки;
- протекціоністські митно-податкові заходи;
- модернізація виробництва і відповідність євростандартам;
- реорганізація галузі та переорієнтація на нові ринки.

Для забезпечення сталого розвитку машинобудівної галузі України та випуску конкурентоспроможної техніки, державна стратегія повинна поставити за мету створення відповідних умов. Це передбачає поєднання активної допомоги виробникам (через інвестиційні програми, компенсаційні механізми та спеціальні податкові режими) з необхідністю інтеграції до європейського ринку. В умовах євроінтеграції, українське машинобудування зможе не лише зберегти свої позиції, але й стати ключовим сектором, що задовольнятиме потреби сучасного технологічного виробництва країни, виключно завдяки реалізації комплексної державної політики.

### Список використаних джерел

1. «Зроблено в Україні»: Перелік сільгосптехніки в рамках програми компенсації (25%) розширили до 8,7 тис. найменувань. *Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України*. URL:<https://me.gov.ua/News/Detail?id=757457bf-4ee7-47ea-8777-fd315bbf1d90&lang=uk-UA&title=ZroblenoVUkraini->

[PerelikSilgospstekhnikiVRamkakhProgramiKompensatsii-25-RozshiriliDo8-7-Tis-Naimenuvan&showMenuTree=true](#)

2. Україна за рік пройшла через три формати торгівлі з ЄС. AgroPortal.ua. URL: <https://agroportal.ua/news/ukraina/ukrajina-za-rik-proyshla-cherez-tri-formati-torgivli-z-yes>

3. Самофалова М.О, Навроцький Я.Ф., Єремеев С.О. Стратегічні орієнтири розвитку вітчизняного машинобудування в контексті європейської інтеграції. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2026. № 61. С. 492-501 DOI: 10.36074/grail-of-science.23.01.2026.052, URL: <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/23.01.2026/49>

УДК 66.067

## РЕГЕНЕРАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ОЛИВ ЕНЕРГОСИСТЕМ АГРОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ ПОРИСТИМИ ПТФЕ

**О. Б. КАЛЮЖНИЙ** к.т.н., доц., **М.М. МАРЧЕНКО** аспірант  
*Державний біотехнологічний університет Україна, м. Харків*

**В. Я. ПЛАТКОВ** д.ф.-м.н., проф.  
*Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля Україна, м. Київ*  
E-mail: [albokal@ukr.net](mailto:albokal@ukr.net), [vplatkov@gmail.com](mailto:vplatkov@gmail.com)

Електротехнічне обладнання відіграє основну роль у сучасному сільському господарстві, забезпечуючи надійне електропостачання технологічних процесів, систем зрошення, зберігання та переробки продукції. Надійність функціонування сільськогосподарських енергосистем безпосередньо залежить від стану силового електрообладнання, зокрема трансформаторних підстанцій, які є головними елементами розподілу електроенергії [1]. Трансформаторна олива є важливим компонентом ізоляційної системи силового електрообладнання, яка виконує функцію діелектрика та теплоносія. Її стан безпосередньо визначає експлуатаційну надійність енергосистеми. Оскільки трансформаторні масла експлуатуються в умовах без вузлів тертя, абразивний знос не виникає. Тому до розміру часток механічних забруднень особливих вимог не висувається. Вода чинить значний вплив на електричну міцність масла. Потрапляючи в масло та утворюючи емульсію, вона суттєво знижує його ізоляційні показники. Основна вимога до трансформаторних масел - повна відсутність навіть слідів емульгованої води. Забруднення неорганічного характеру не мають суттєвого впливу на працездатність трансформаторів, масляних рубильників та іншого електротехнічного обладнання. Негативну роль відіграють механічні домішки органічного походження (асфальто-



смолисті речовини), які знижують електроізоляційну здатність масла. Присутність мікрозабруднень створює передумови для пробою ізоляції та аварійного виходу обладнання з ладу. Це зумовлює необхідність впровадження фільтрувальних матеріалів, що є хімічно інертними до продуктів окиснення та здатні до сепарації дрібнодисперсних фаз.

Ефективне очищення трансформаторної оливи від забруднень є головним фактором подовження терміну служби електроенергетичного обладнання. Серед сучасних методів очищення фільтрація через пористі полімерні матеріали демонструє високу ефективність завдяки здатності утримувати механічні домішки, воду та продукти окиснення. Особливе місце серед таких матеріалів має пористий політетрафторетилен (ПТФЕ), який відрізняється високою хімічною інертністю, термостійкістю, стабільністю властивостей у широкому діапазоні робочих температур (від -200 до +150 °C) та унікальною структурою відкритих пор, що забезпечує ефективну проникність і механічну міцність.

Пористий ПТФЕ в межах пористості 64–78 % формує складну звивисту систему каналів, здатну затримувати частинки розміром від 40 мкм до 1 мкм.

Технологія виготовлення фільтроелементів на основі пористого ПТФЕ включає етапи змішування порошку полімеру з пороутворювачем (наприклад, солями або органічними сполуками), пресування суміші під тиском, термічну обробку для спікання та подальше вимивання пороутворювача розчинниками [2]. Цей процес забезпечує формування стабільної порової структури, яка зберігає свої фізико-механічні характеристики навіть за умов підвищених температур (до 150 °C) і тривалого контакту з трансформаторною оливою, що включає вплив агресивних компонентів.

Залежно від параметрів технологічного процесу формування цього матеріалу можливе регулювання середнього діаметра пор, їхньої щільності та рівномірності розподілу [3]. Це дозволяє використовувати такі фільтруючі елементи від грубої фільтрації (видалення асфальтено-смолистих частинок і механічних забруднень) до тонкої фільтрації (вилучення дисперсної води та продуктів окиснення).

Подальші дослідження, спрямовані на оптимізацію параметрів порової структури для підвищення ефективності фільтрації, були проведені на пористих ПТФЕ з номінальною тонкістю фільтрації 5 мкм (ФЕП-20) та 20 мкм (ФЕП-20).

За реальних умов процес фільтрування здійснюється у ламінарному режимі, що описується рівнянням Дарсі [4]:

$$Q = K \cdot S \cdot \frac{\Delta P}{\mu \cdot H}$$

де  $K$  - коефіцієнт проникності фільтрувального матеріалу з товщиною пористої перегородки  $H$ ,  $Q$  - витрата оливи, що залежить від параметрів установки та в'язкості оливи  $\mu$ ,  $S$  - площа поверхні пористого матеріалу,  $\Delta P$  - перепад тиску на пористому матеріалі.

Проведено дисперсний аналіз фільтрування трансформаторної оливи Т-750. Встановлено показники ефективності (коефіцієнт відсіву  $\chi$ , %) для фільтрувальних елементів (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнт відсіву домішок ( $\chi$ , %) фільтрувальними елементами ПТФЕ з різною тонкістю фільтрації

| Розмірна група домішок, мкм | ФЕП-20 (Н=6,2 мм) | ФЕП-5 (Н=6,2 мм) |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| 0,5 – 1                     | 20,4%             | 25,3%            |
| 1 – 2                       | 25,7%             | 28,5%            |
| 2 – 3                       | 75,1%             | 56,0%            |
| 3 – 5                       | 79,1%             | 95,5%            |
| 5 – 10                      | 79,5%             | 100%             |
| > 20                        | 100%              | 100%             |

Вищий показник коефіцієнт відсіву  $\chi$  для ФЕП-20 у групі 2–3 мкм пояснюється специфікою звивистості пор та локальною гідродинамікою потоку при даній товщині стінки пористої перегородки. Збільшення товщини перегородки Н підвищує якість очищення, але призводить до лінійного зростання гідравлічного опору.

Для вивчення впливу забрудненості ФЕП-20 на його гідравлічну характеристику отримані залежності  $\Delta P = f(Q)$  для різних рівнів засмічення (рис.1).

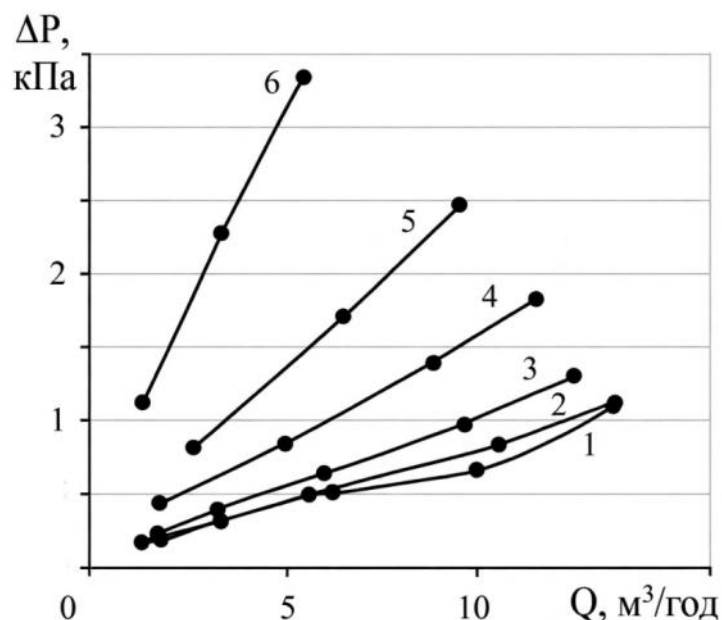


Рис.1. Вплив забрудненості ФЕП-20 на його гідравлічну характеристику:  
1- чиста олива; 2 - 10 г; 3 - 20 г; 4 - 30 г; 5 - 40 г; 6 - 50 г.

Таким чином, встановлена залежність між ступенем забруднення фільтра та його гідравлічним опором. Отримані дані дають змогу впровадити обслуговування електротехнічного обладнання за фактичним станом, де досягнення граничного перепаду тиску (згідно з аналізом забрудненості) є індикатором вичерпання ресурсу фільтруючого елемента. Моніторинг тиску оптимізує процес технічного обслуговування та забезпечує визначення моменту необхідності заміни фільтруючого елемента. Це зменшує аварійні ситуації і підвищує ефективність експлуатації електротехнічного обладнання.

#### **Список використаних джерел**

1. Kozlov, V.K., Valiullina, D.M., Turanova, O.A. et al. Transformer Oil Degradation Mechanisms. Power Technol Eng., 2022. 56, pp.305–308. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01510-2>
2. Kaliuzhnyi O. B., Platkov V. Ya. Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen. Iran J. Mater. Sci. Eng., 2020. 2, 17, pp. 13-19 <https://doi.org/10.22068/ijmse.17.2.13>
3. Kaliuzhnyi O.B., Platkov V.Ya. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). J. Polym. Res., 2022. 29, pp. 32-37 <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w>
4. Gunashekar, S., Pillai, K. M., Church, B. C., Abu-Zahra, N. H., Liquid flow in polyurethane foams for filtration applications: a study on their characterization and permeability estimation. J. Poreuse Mater. 2015, 22, 749-759. <https://doi.org/10.1007/s10934-015-9948-2>

**УДК:621.771**

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ДЕФЕКТІВ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ВАЛКІВ ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВОЇ ПРОКАТКИ**

**А. К. АВТУХОВ**, доктор технічних наук, професор  
**О. С. КОРНЕВ**, аспірант  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

На металургійних підприємствах для виробництва подрібнюючих кульок широко застосовують стани поперечно-гвинтової прокатки. Така технологія прокатки досить специфічний через те, що валки мають гвинтову калібровку (реборди), які поступово захоплюють круглу заготовку та формують з неї ідеальну сферу [1].

У результаті їх досліджень кулькопрокатних валки з сталі 35ХГСА було встановлено, що під час експлуатації реборди калібрів валків перебувають у найбільш несприятливих температурних умовах, тому що при експлуатації не

забезпечується досить швидкий відвід тепла в глиб валка, що приводить до нерівномірного їхнього охолодження. У результаті цього на поверхні реборд з'являються грубі радіальні тріщини на глибину до 10-12мм, розвиток яких визначає викрашування її робочої поверхні.

Мікроструктури валків у зоні зародження тріщин неоднорідна; на глибину до 0,05-0,07 мм вона являє собою легований ферит. Максимальна глибина частково знеуглецьованого шару нерівномірна й у ряді випадків досягає 1 мм, на іншій поверхні - мартенсит відпустки

Для оцінки впливу розподілу легуючих елементів по перетину валка на його експлуатаційну стійкість були проведені дослідження фазового складу сталі 35ХГСА за допомогою рентгеноспектрального й рентгеноструктурного аналізів (проби відбирали на відстані 5,10,15 мм від поверхні). У результаті досліджень було встановлено, що насиченість матричної фази легуючими елементами по перетину валка практично не міняється. Ідентичний фазовий склад мали всі досліджувані зразки.

У зв'язку з тим, що тріщини у валках з сталі 35ХГСА розташовані в зоні знеуглецьованого поверхневого шару й тут же розміщені окисли й інші неметалічні включення, були проведені дослідження з вивчення природи цих неметалічних включень, які показали, що здебільшого тріщини заповнені магнетитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), а по периферії гематитом ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) і магнетитом ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

Для вивчення впливу неметалевих включень на зародження й розвиток тріщин у валках були проведені дослідження з визначення природи й розподілу неметалічних включень у сталі 35ХГСА. У результаті петрографічного аналізу було встановлено, що основною мінеральною складовою включень є сульфіді Mn, Fe. Зерена таких сульфідів мають округлу, овальну та неправильну форму різного розміру, який у поперечнику змінюється від 8...30 до 30...50 мкм.

Природу скупчення у тріщинах включень магнетиту, гематитом і магнетиту було визначено при дослідженні механізму зносу робочих поверхонь валків при експлуатації.

При проведенні досліджень вивчали характер зношування валків між тріщинами розпалу в зоні різних калібрів. Ці дослідження показали, що провідним видом зношування як лівого, так і правого валків є окисне зношування, при цьому на 30 % поверхні має місце теплове зношування.

Окислювальний знос— це складний процес, де механічне навантаження поєднується з хімічною реакцією металу з киснем повітря та охолоджувальним середовищем, що має як позитивн аспект так і негативний.

Позитивний аспект полягає в тому, що тонка, пластична оксидна плівка діє, як тверда змазка і тим самим запобігаючи прямому адгезійному контакту («схоплюванню») між валком і заготовкою.

Негативний аспект полягає в тому, при перевищенні критичної товщини плівка втрачає суцільність. Через різницю в коефіцієнтах термічного

розширення металу і оксиду, та під дією циклічних навантажень, плівка розтріскується і працює як образив.

Саме тому в умовах гарячої прокатки на поверхні калібрів валків безперервно утворюються магнетити, гематити і магнетити, які і були виявлені в тріщинах.

Враховуючи те, що зародження й розвиток тріщин у валках зі сталі 35ХГСА відбувається переважно в зоні знеуглецьованого поверхневого шару, визначили доцільним використання захисних атмосфер для запобігання обезуглецевуванню при термообробці валків.

#### **Список використаних джерел.**

1. Производство и применение прокатных валков : справочник / Т. С. Скобло и др. Ред. Т. С. Скобло. Харьков, 2013. ЦД № 1. 572 с.

**УДК 631.3:504.06:620.9**

### **ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ СТАНДАРТІВ НА КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ В АГРОМАШИНОБУДУВАННІ В УМОВАХ ЄЗК**

**Ростислав СТРИКУН**, студент

**Валентина МЕЛЬНИК**, к.е.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Переорієнтація європейської політики на кліматичну нейтральність до 2050 р. зумовлює зміну інженерних підходів щодо агромашинобудування: від оптимізації механіки – до інтегрованих екологічно орієнтованих платформ із цифровим керуванням та мінімізованим вуглецевим слідом [1; 2].

Запровадження стандартів викидів рівня Stage V у ЄС спричинило широке впровадження систем доочищення відпрацьованих газів (SCR, DPF), що обумовило перегляд компоновки силових установок, систем охолодження та електронного моніторингу параметрів роботи двигуна в реальному часі [2; 3].

Реалізація підходів стратегії «Від ферми до виделки» стимулює розроблення машин для точного внесення ресурсів на основі сенсорних систем, комп'ютерного зору та алгоритмів штучного інтелекту, що зменшує використання агрохімікатів і екологічне навантаження на агроландшафти [1; 4].

Вимоги щодо запобігання ущільненню ґрунту визначають розвиток ходових систем із розширеною площею контакту, дистанційним регулюванням тиску в шинах і застосуванням гусеничних рушіїв. Використання високоміцних сталей і композитів забезпечує зниження маси машин та підвищення енергоефективності їх експлуатації



Виробники сільськогосподарських машин, зокрема John Deere, Case IH та New Holland, розробляють силові установки на біометані, водні й електричній тязі. Це потребує нових підходів до розміщення енергетичних модулів, балансування мас та переходу до електромеханічних приводів виконавчих органів [6].

Сучасні машини проектуються з урахуванням життєвого циклу компонентів, їх повторного використання та перероблення. Цифрова ідентифікація вузлів і матеріалів забезпечує простежуваність та підвищує ресурсоефективність виробництва [1; 7].

Агромашина трансформується з механічного засобу виробництва у високотехнологічну екосистему, що поєднує енергоефективність, інтелектуальне керування та мінімізацію впливу на довкілля, сприяючи сталому розвитку аграрного сектору [1; 5].

### **Список використаних джерел**

1. Європейська Комісія. Європейський зелений курс (European Green Deal): Повідомлення Комісії до Європейського Парламенту, Європейської Ради, Ради, Європейського економічного і соціального комітету та Комітету регіонів. Брюссель, 2019. 24 с.
2. Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits for internal combustion engines for non-road mobile machinery. Official Journal of the European Union. 2016. L 252. P. 53–117.
3. Johnson T. Diesel Emission Control in Review. SAE International Journal of Engines. 2019. Vol. 12, No. 2. P. 155–173.
4. European Commission. Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels, 2020. 23 p.
5. Keller T., Lamandé M. Soil compaction and agricultural mechanization: A review. Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 195. 104–115.
6. Lajunen A., Lipman T. Lifecycle cost assessment and carbon emissions of alternative powertrains in agricultural machinery. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 289. 125–138.
7. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling. 2017. Vol. 127. P. 221–232.

УДК 621.74.046

## МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МОЛОТКОВИХ МЛИНІВ

**Г. М. ПОХИЛЕНКО**, старший викладач  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
E-mail: [pokhilenko@nubip.edu.ua](mailto:pokhilenko@nubip.edu.ua)

Молотки для дроблення кормів ключові деталі сільськогосподарських молоткових млинів, що використовуються для подрібнення різних органічних матеріалів на дрібніші, легші частинки для корму худоби. Ці деталі зазвичай виготовляються з міцних, зносостійких сплавів і бувають по конструкції поворотними або фіксованими, для того щоб відповідати різним матеріалам, які подрібнюються, та потребам обробки.

Конструкція, матеріал та конфігурація молотків кормодробарки суттєво впливають на розмір частинок кінцевого продукту та ефективність машини.

Вибір матеріалу для молотків кормодробарок залежить від того, що саме ви плануєте подрібнювати: м'яке зерно чи грубі корми з можливими твердими домішками. Виробники використовують кілька основних типів металів, щоб збалансувати зносостійкість та міцність.

Конструкційні та пружинно-ресорні сталі (найпопулярніші в Україні). Сталь 65Г найпоширеніший матеріал для молотків зернодробарок (наприклад, у ТОВ «Агроінвест»). Вона має високу пружність і твердість після гартування і відпуску, що дозволяє молоткам витримувати тисячі ударів без деформації.

Або сталь 35ХГС, яка використовується для виготовлення деталей, які працюють при значних навантаженнях. Забезпечує тривалий термін служби за рахунок хорошої в'язкості та стійкості до зносу.

Серед європейських виробників сільгосптехніки популярна боровмісна сталь (30MnB5). Вона поєднує високу твердість з пластичністю, що критично для запобігання поломкам при потрапленні в камеру камінців або болтів.

Високомарганцовиста сталь «сталь Гадфільда» (Mn13, Mn18). Головна її особливість полягає в тому, що вона стає твердішою безпосередньо під час ударів (явище наклепування). Це ідеальний вибір для промислових дробарок, де важливо поєднувати м'яку внутрішню основу (щоб не зламатися) і надтверду поверхню.

Високохромистий чавун та сплави (Cr20–Cr26) мають надзвичайно високу твердість (до 60-65 HRC). Їх використовують для подрібнення дуже абразивних матеріалів. Проте вони крихкі, тому частіше застосовуються як вставки у біметалевих молотках, де основа зроблена з в'язкої сталі.

Наступний варіант це спеціальні покриття та термічна обробка. Багато виробників (наприклад, Дніпроагродеталь) піддають заготовки об'ємному гартуванню або СВЧ (струмами високої частоти). Це дозволяє отримати тверду «робочу» кромку при збереженні міцної середини.

УДК:621.771

## ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЕВТЕКТОЇДНИХ СТАЛЕЙ

**А. К. АВТУХОВ**, доктор технічних наук, професор  
**О. С. БОРИСЕНКО**, аспірант  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Заевтектоїдні сталі (0,8–2,0% С) завдяки високій міцності та зносостійкості є незамінними для виготовлення прокатних валків [1]. Проте прогнозування впливу хімічних елементів на працездатність виробів, що працюють в умовах знакозмінних навантажень та високих температур залишається актуальною науково-практичною задачею.

Під час виконання роботи визначали комплексний вплив вмісту легуючих елементів (було досліджено 8 зразків сталей з варіюванням вмісту С (1,38–1,81%), Si, Mn, Cr, Ni, Mo та Ti) та режимів термічної обробки (порівнювалися відпал (850 °С), подвійна (950/850 °С) та потрійна (950/900/850 °С) нормалізація з подальшим відпуском при 600 °С) на термічну витривалість ( $N_t$  кількість циклів «нагрів до 600 °С — охолодження водою до руйнування та зносостійкість ( $K_z$  відносну втрату маси при терті під навантаженням 9,8 МПа) заевтектоїдних сталей[2].

В результаті досліджень було встановлено, що в сталях з вмістом вуглецю ~1,8% навіть тривала термообробка (до 205 годин) не забезпечує повного подрібнення грубої карбідної сітки. Підвищення вмісту Si до 1,05–1,20% не призводить до графітизації, що підтверджує стабільність карбідної фази.

Будь-який вид термообробки знижує твердість (відпал — на 18%, подвійна нормалізація — на 7%, потрійна — на 10%), але суттєво підвищує міцність та експлуатаційні характеристики.

Найкращі показники досліджуваних параметрів були отримані при подвійній нормалізації: приріст межі міцності на згин склав 20%, термічної витривалості — 21%, зносостійкості — 19%.

На основі обробки експериментальних даних були отримані рівняння регресії, що характеризують вплив хімічних елементів сплаву на відповідні показники при подвійній нормалізації:

$$N_t = 5611,88 - 1380,80C + 487,09Si + 72,43Mn + 50,68Cr - 1480,59Ni - 1309,9Mo - 3694,16Ti$$

$$K_z = -14,80 + 4,301C - 0,555Si - 0,420Mn + 3,307Cr + 3,184Ni + 9,132Mo + 25,933Ti$$

За допомогою програми пошук рішень пакету аналізу Excel був отриман хімічний склад заевтектоїдної сталі: 1,36 %С; 1,69 Si; 1,34 Mn; 1,27 Cr; 0,76 Ni; 0,41Mo; 0,08Ti%, який після подвійної нормалізації надає можливість отримати максимальний рівень експлуатаційних показників.

### Список використаних джерел

1. Производство и применение прокатных валков : справочник / Т. С. Скобло и др. Ред. Т. С. Скобло. Харьков, 2013. ЦД № 1. 572 с.
2. А. К. Автухов, О. Б. Калюжный, О. С. Борисенко, О. С. Корнєв. Вплив хімічного складу та термічної обробки на експлуатаційні властивості заєвтектоїдних сталей, що працюють в умовах підвищених знакозмінних навантажень та температур. // Наукові нотатки : міжвуз. збірник. - Луцьк, 2025. - № 81. - С. 92-96

УДК 621. 74: 389.6

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ З ВТОРИННИХ МЕТАЛІВ З УРАХУВАННЯМ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ

**С. В. ГНИЛОСКУРЕНКО**, к.т.н, старш. дослідник,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**В. О. СТРИГУН**, канд. наук держ. управ.,

**Н. М. ВОЛОШИН**, провідний інженер,

**Л. С. ЧАПЛИГІНА**, гол. технолог

*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України*

*E-mail:* [slava.vgn@nubip.edu.ua](mailto:slava.vgn@nubip.edu.ua), [standartftims@gmail.com](mailto:standartftims@gmail.com), [volavgustin52@ukr.net](mailto:volavgustin52@ukr.net)

Рівень розвитку машинобудування оцінюється функціональністю машин, довговічністю та надійністю деталей та вузлів. Якість останніх залежить не тільки від їх оптимальної конструкції і технологічності, а і від якості матеріалів, з яких вони виготовляються. Металеві деталі, отримані з чистих шихтових матеріалів, зазвичай переважають за властивостями такі ж елементи машин з вторинних матеріалів. Але для розвитку ресурсозбереження та екологічності технологічних процесів, економії природних ресурсів дуже актуальними натеper є виробництва із застосуванням вторинних металів, зокрема брухту чорних металів, який накопичився в Україні. Поводження з такими матеріалами регламентується державними стандартами України.

Дослідження положень європейських нормативних документів, розробка та оновлення національних стандартів є важливою задачею, виконання якої дозволить орієнтувати виробництво в Україні на високі показники та зробити нашу продукцію та технології конкурентними на світовому ринку.

Таку діяльність з розробки стандартів в ливарному виробництві, яке є основною заготівельною базою машинобудування, проводить технічний комітет стандартизації ТК 177 «Ливарне виробництво», який залучає до своєї роботи науковців Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України та профільних ливарних кафедр ВУЗів України [1].

Сфера обігу металобрухту в українському законодавстві регулюється Законом України «Про металобрухт», частково Законом України «Про управління відходами», іншими нормативно-правовими та нормативними актами. Визначено, що металобрухт – це непридатні для прямого використання виробу або частини виробів, які за рішенням власника втратили експлуатаційну цінність [2]. До нього відноситься брухт металургійних та машинобудівних підприємств; металеві конструкції, термін експлуатації яких вичерпаний; побутовий металобрухт.

Правила проведення робіт з національної стандартизації визначають необхідність перевірки та перегляду стандартів кожні 5 років, як зазначено в Державному стандарті ДСТУ 1.2:20015 [3].

У роботі було досліджено положення ДСТУ 4121:2002 «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», низки національних та європейських стандартів, Європейської специфікації сталевих брухту EU-27, Рекомендацій зі сталевих брухту FS-2017 Інституту переробки брухту США [4,5]. Було розроблено систему класифікації металів чорних вторинних у залежності від вмісту вуглецю в його складі; за характеристиками та показниками якості метали чорні вторинні розділені на види та підвиди із значним скороченням та спрощенням класифікації. У результаті вивчення всіх показників розроблено таблицю відповідності видів шихтового металобрухту та металобрухту для переробки вуглецевих сталей та чавунів національної класифікації видам Європейської специфікації сталевих брухту EU-27.

Новий національний стандарт, створений у результаті проведених досліджень, враховує сучасний стан розвитку науки та техніки і дозволить розробляти ресурсозберігаючі технологічні процеси одержання якісних деталей для машинобудування з використанням вітчизняного металобрухту.

### **Список використаних джерел**

1. В.А. Стрыгун, Н.М. Волошин, С.В. Гнилокурченко, Л.С. Чаплыгина. Научные исследования в стандартизации литейного производства Украины. Металл и литье Украины. №5-6, 2019, С. 28-32.
2. Закон України «Про металобрухт» від 05.05 1999 р. № 619. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 25, ст.212.
3. ДСТУ 1.2:20015 Національна стандартизація. Правила проведення робіт з національної стандартизації. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2015.
4. European steel scrap specification (Європейська специфікація сталевих брухту), EU—27.
5. Guidelines for Ferrous Scrap: FS—2017, Institute of Scrap Recycling Industries, Inc., USA (Рекомендації по сталевому брухту FS—2017 Інституту переробки лому США).



УДК 669.018.44:621.74

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПРЯМОВАНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

К. Г. КВАСНИЦЬКА, PhD; В. О. НОГА.; В. О. БОЖКО

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [katonish@gmail.com](mailto:katonish@gmail.com)*

Зростання експлуатаційних навантажень у сучасних авіаційних та енергетичних установках зумовлює підвищені вимоги до матеріалів деталей гарячої частини газотурбінних двигунів. Робочі та соплові лопатки турбіни функціонують в умовах високих температур, складного напруженого стану, вібраційних впливів і агресивних середовищ. Забезпечення необхідного рівня міцності, жаростійкості та довговічності значною мірою визначається структурним станом матеріалу, який формується під час лиття. Одним із найефективніших способів отримання заданої макро- та мікроструктури є спрямована кристалізація. [1]

Мета роботи полягає в оптимізації технологічних параметрів процесу спрямованої кристалізації жароміцного сплаву СМ88 з метою підвищення якості виливків, зменшення виробничих втрат та забезпечення стабільних механічних характеристик готових виробів.

Дослідження проводилися на вакуумній установці УВНК-8П із реалізацією методу Бріджмена–Стокбаргера. Плавлення та заливання здійснювали при температурі 1550–1570°C. Швидкість переміщення фронту кристалізації варіювали на двох рівнях — 5 і 10 мм/хв. Температурне поле в об'ємі виливка контролювали за допомогою вольфрам–ренієвих термопар (ВР 5/20) у п'яти точках уздовж осі зразка, що дозволило розрахувати локальні параметри теплового режиму та градієнт температури.

Актуальність дослідження обумовлена активним впровадженням у виробництво сучасних нікелевих суперсплавів, легованих тугоплавкими елементами (ренієм, танталом, рутенієм), які забезпечують підвищену жароміцність і корозійну стійкість. Разом із тим, ефективність використання таких матеріалів безпосередньо залежить від досконалості ливарної технології та стабільності параметрів кристалізації.

Встановлено, що підвищення швидкості спрямованої кристалізації з 5 до 10 мм/хв сприяє формуванню більш дрібнодисперсної дендритної структури, зростанню об'ємної частки зміцнювальної  $\gamma'$ -фази та зменшенню розмірів її частинок. Одночасно спостерігається зниження середнього поперечного перерізу  $\gamma/\gamma'$ -евтектики та збільшення кількості дисперсних карбідів типу MC у

міждендритних ділянках. Отримані результати свідчать про покращення структурної однорідності сплаву. [2]

Визначено, що оптимальний діапазон швидкості переміщення фронту кристалізації для формування регулярної спрямованої структури становить 10–12 мм/хв. Механічні випробування зразків після термічної обробки показали відповідність показників короткочасної та тривалої міцності вимогам нормативної документації.

З метою підвищення відтворюваності результатів і зменшення впливу людського фактора розроблено програмне забезпечення для автоматизації процесу керування нагрівом і кристалізацією в установці УВНК-8П. Система забезпечує контроль температури розплаву, температури охолоджувача, градієнта температур у виливку та швидкості переміщення фронту кристалізації в режимі реального часу. Використання автоматизованого керування дозволяє знизити витрати матеріалів і енергії, а також підвищити стабільність якості виливків.

### **Список використаних джерел**

1. Матеріали і технології для лопаток вітчизняних промислових газотурбінних двигунів / Г. П. Мяльніца, А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський та ін. – К. : Наукова думка. – 2023. – 180 с. ISBN: 978-966-000-1810-5
2. Замковой, В. Є. (2005). Удосконалення процесів формування внутрішньої порожнини охолоджуваних лопаток ГТД. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Київ.

**УДК: 620.31**

## **ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КАРБОНОВИХ НАНОТРУБОК**

**В. Р. ПАНЬКІВ**, канд. техн. наук, доцент  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*  
*E-mail: pankiv\_v@tntu.edu.ua*

Для проведення досліджень було виготовлено п'ять зразків композитного матеріалу, який складався з поліуретанової матриці, поліаніліну, карбонової сажі та карбонових нанотрубок, процентний вміст яких складав 1%, 2,5%, 5%, 7,5% і 10%.

Виготовлення зразків проводили таким чином:

- розраховували масу матеріалу, змішували та обробляли ультразвуком поліоли з додаванням розчинників і наповнювачів;
- проводили дегазування зразків протягом 30 хв після того, як був доданий армуючий елемент;

- зразки нагрівали до випаровування розчинника протягом 3-4 годин, після чого зразки заливали в контейнери та залишали при кімнатній температурі для затвердіння протягом 20 днів.

Динамічний механічний аналіз, або динамічний механічний термічний аналіз зразків проводили з використанням приладу DMA8000 (Perking Elmer, рис. 1), який був підключений до комп'ютера, а дані отримувались за допомогою програмного забезпечення Pyris для ноутбука.

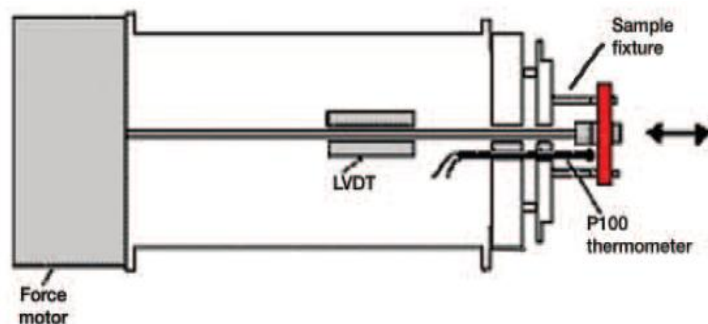


Рис. 1. Схема приладу DMA8000

Були проведені два типи експериментів для всіх п'яти зразків і три випробування для контрольного зразка (чистий поліуретан).

Перший тип тесту – температурне сканування. При цьому типі тесту, можна спостерігати реакцію деформації матеріалу при застосуванні постійної частоти й напруги під час збільшенні температури зразка. Досліджували характер поведінки модуля втрат, модуля пружності і температуру стіклування залежно від температури нагрівання зразка.

Другий тип тесту – статичне сканування, де спостерігали реакцію зразка на деформацію за постійної температури та зростання навантаження, що дозволило визначити модуль Юнга зразка.

Третій тип тесту – випробування на розтяг зразка, який проводився тільки для чистого поліуретану, щоб знати різницю в показниках від тестування динамічного механічного аналізу.

Всі зразки мали форму прямокутника товщиною приблизно 7 мм. Для кожного випробування, зразки розрізали на маленькі шматочки тієї ж форми, і з товщина яких становила приблизно 1 мм.

Для температурного аналізу були використані наступні параметри: діапазон температур від  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ , швидкість зростання температури  $2^{\circ}\text{C}$  за 1 хвилину, для охолодження використовувався газоподібний азот  $20,0$  мл/хв, множник зусилля  $1,5 \times 0,005\%$  деформації при частоті 1 Гц. Для деяких зразків (1,0%, 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%) були проведені повторні випробування з метою перевірки результатів із збільшеним температурним діапазоном до  $140^{\circ}\text{C}$ .

Розтягнення зразків, або стрес-тести проводилися в два тести. У першому тесті температура була  $30^{\circ}\text{C}$  для всіх зразків, а в другому – температура була різною для кожного зразка, але в зоні стіклування. В обох тестах прикладали силу, яка дорівнювала  $0,3$  Н за швидкості зростання сили  $0,3$  Н за хвилину. Як і

у випадку температурного сканування для деяких зразків (1%, 5%) були проведені повторні тести, щоб отримати більш точні результати.

Випробування на розтяг для чистої поліуретану були проведені відповідно до специфікацій, зі швидкістю 0,001 мм на хвилину.

Для першого тесту, температурний діапазон був від  $(-104^{\circ}\text{C})$  до  $100^{\circ}\text{C}$ , розміри зразка  $10 \times 9,5 \times 1,8$  мм (довжина  $\times$  ширина  $\times$  товщина).

Графічна інтерпретація результатів дослідження, наведена на рис 2, 3, 4.

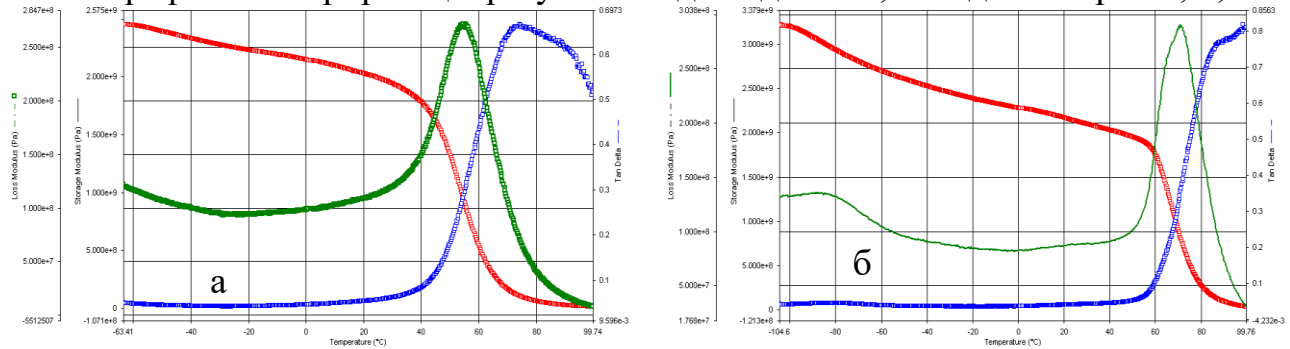


Рис. 2. Карбонові нанотрубки: а, б – відповідно, 1,0% та 2,5%

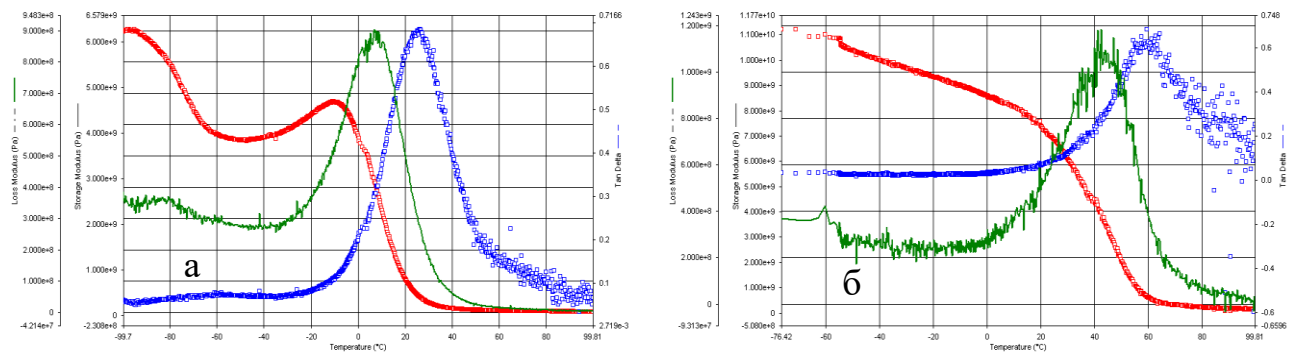


Рис. 3. Карбонові нанотрубки: а, б – відповідно, 5,0% та 7,5%

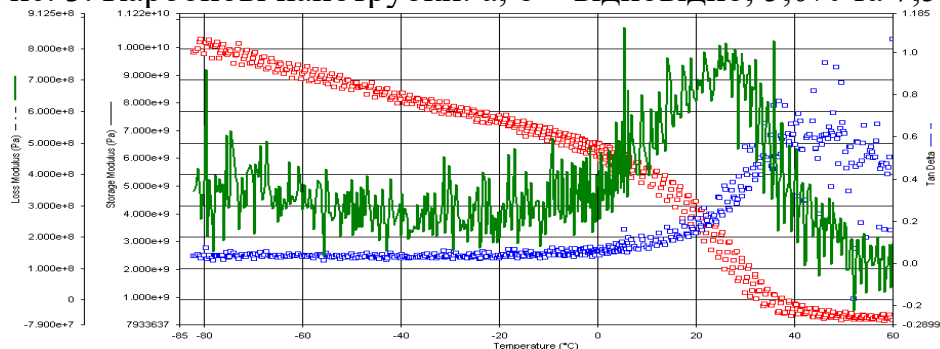


Рис. 4. Карбонові нанотрубки 10%

На рис. 5 представлені всі значення тангенса дельта для п'яти зразків і чистого поліуретану.

Встановлено, що чистий поліуретан має найнижчу температура склування  $6,35^{\circ}\text{C}$ , а найвищу температура склування  $102,5^{\circ}\text{C}$ . має зразок з вмістом 1,0% карбонових нанотрубок, а зі збільшенням кількості карбонових нанотрубок температура стіскування падає.

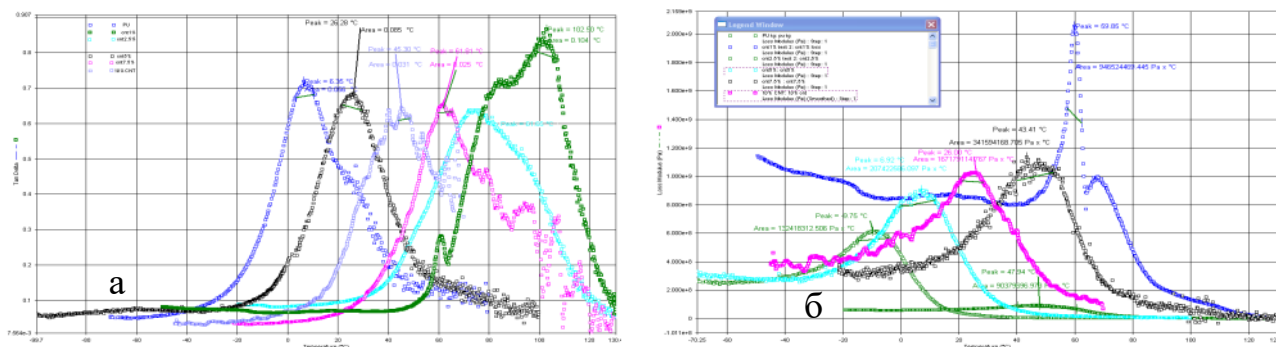


Рис. 5. Залежності зміни: а – тангенса кута дельта; б – модуля втрат

Пік тангенса кута дельта для зразка 2,5% знаходиться при 75,5°C, для зразка 5% – при 26,28 °C, для зразка 7,5% – при 61,81°C, для зразка 10% при – 45,3°C, рис. 5а.

Всі зразки мають більш високу температуру стіклування у порівнянні з чистим поліуретаном. Це означає, що навіть невеликий вміст цього компонента робить позитивний вплив на властивості композиту.

Найнижчий показник показав композит з 5% карбонових нанотрубок, що може бути викликано рядом причин, а саме, порушення виробничого маршруту або умов тестування, а також деяких дефектів конкретного зразка.

Тенденція зміни модуля втрат (рис. 5б) майже аналогічна тенденції зміни кривих тангенса кута дельта. Зі збільшенням кількості карбонових нанотрубок значення піків зменшуються.

Найвищий показник досягнуто для зразка з 1% вуглецевих нанотрубок і становить 59,85°C.

Найнижчий пік спостерігається при температурі (-9,75)°C для чистого поліуретану.

Поведінка кривої для зразка 5% матеріалу така же, як і в попередньому випадку показує найнижчу пікову температуру 6,92° C.

**УДК 573.6.086.83**

## МЕТАЛОВМІСНІ НАНОЧАСТИНКИ В АГРОТЕХНОЛОГІЯХ: ПЕРЕДПОСІВНИЙ АСПЕКТ

**К. ВІНАРЧУК**, асистент кафедри ТКМіМ  
НУБіП України

E-mail: [vinarchuk-k@ukr.net](mailto:vinarchuk-k@ukr.net)

На тлі глобальних викликів продовольчої безпеки, нанотехнології стають ключовим інструментом інтенсифікації рослинництва (Adisa et al., 2024).



Передпосівний нанопримінг (обробка насіння суспензіями наночастинок) дозволяє мінімізувати використання пестицидів та мінеральних добрив, забезпечуючи доставку активних речовин безпосередньо в зародок. Для України, як одного з провідних світових експортерів зернових та олійних культур, розробка нанопрепаратів є стратегічним питанням економічної ефективності при мінімальних витратах діючої речовини.

Обґрунтувати механізми впливу металовмісних наночастинок (Fe, Cu, Zn, Ag, Mn) на біохімічні показники насіння та довести доцільність їх впровадження в сучасні системи точного землеробства України.

Слід звернути увагу на роль НЧ як кофакторів металоферментів. Дослідження мають фокусуватися на активності -амілази та протеаз (Vigani et al., 2024). Наночастинок заліза (Fe) та марганцю (Mn) активують дихальні процеси в мітохондріях, що критично важливо для отримання рівномірних сходів при глибокому посіві. Особливої уваги заслуговує антифунгальна дія НЧ срібла (Ag) та міді (Cu) (Noman et al., 2023). Електроіскровий метод отримання НЧ забезпечує їхню високу біосумісність та відсутність шкідливих хімічних залишків (Lopatko et al., 2021). Вони здатні замінити частину токсичних протруйників, пригнічуючи розвиток коренових гнилей та пліснявіння насіння без негативного впливу на корисну мікрофлору ґрунту. Важливо детально розписати діапазон концентрацій. Південні та центральні регіони України дедалі частіше страждають від весняних посух. Нанопримінг підвищує водоутримувальну здатність тканин зародка та активує гени стресового відгуку, що дозволяє культурі розвитку навіть за дефіциту вологи в ґрунті (Shekhawat et al., 2021).. В умовах бойових дій значні площі українських чорноземів зазнали хімічного та механічного пошкодження. Наночастинок можуть виступати як антидоти та імуномодулятори, допомагаючи рослинам виживати в умовах техногенного стресу El-Saadony et al., 2022). На відміну від традиційних добрив, які потребують внесення сотень кілограмів на гектар, нанопрепарати використовуються в грамах. Для великих агрохолдингів України це означає радикальне скорочення витрат на логістику, зберігання та паливо. Оскільки Україна інтегрується до ЄС, зниження пестицидного навантаження є обов'язковою умовою для експорту агропродукції. Нанотехнології забезпечують екологічну чистоту зерна.

Передпосівна обробка металовмісними наночастинками - це не просто стимуляція росту, а комплексна система управління потенціалом рослини. Впровадження цієї технології в Україні дозволить стабілізувати врожайність у ризикованих зонах землеробства та зміцнити позиції держави, як високотехнологічного аграрного лідера.

### Список використаних джерел

1. Adisa, I. O. et al. (2024). Nanotechnology in agriculture: Current status and future perspectives for food security. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(2), 450-468.

2. Vigani, G. et al. (2024). Nanopriming: A new frontier for seed vigor and germination enhancement. *Seed Science Research*, 34(1), 44-58.
3. Noman, M. et al. (2023). Green synthesized nanomaterials: A sustainable approach for plant disease management. *Plant Pathology Journal*, 39(1), 15-32.
4. Lopatko, K. et al. (2021). Technological aspects of obtaining metal nanoparticles by electrical discharge for agro-industrial complex. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 12(3), 320-328.
5. Shekhawat, G. S. et al. (2021). Metal oxide nanoparticles and their role in enhancing plant tolerance to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 631739.
6. El-Saadony, M. T. et al. (2022). Role of metal nanoparticles in mitigating abiotic stress in plants: A strategic review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 854617.

UDC 621.762.8

## APPLICATION OF POWDER METALLURGY METHODS FOR PRODUCING $\text{Fe}_3\text{Al}$ -BASED ALLOYS WITH ENHANCED HEAT RESISTANCE

**O. I. TOLOCHYN**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Scientific Researcher  
**O. V. TOLOCHYNA**, Candidate of Technical Sciences (PhD),  
*Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of  
National Academy of Sciences of Ukraine*  
*E-mail:* o.tolochyn@ipms.kyiv.ua, [o.tolochyna@ipms.kyiv.ua](mailto:o.tolochyna@ipms.kyiv.ua)

In recent years, increasing attention has been paid worldwide to enhancing the power, energy efficiency, and safety of power machines and energy modules. This necessitates higher operating temperatures and the use of advanced high-temperature materials. For ultra-supercritical steam power plants, materials must withstand temperatures of 650–750°C, while next-generation reactors require materials capable of operating at 1000°C [1-3]. High power output and enhanced reliability are also key requirements for diesel power units used in agricultural machinery and marine vessels. The technical condition of fuel system components directly determines the engine's effective power, starting performance, operational stability, fuel consumption, and specific fuel efficiency. Significant wear of fuel supply system elements can lead to a sharp deterioration of engine performance characteristics and may ultimately result in engine failure. Therefore, modern diesel engines demonstrate an increasing demand for advanced materials capable of meeting these stringent operational and durability requirements. [4]. Iron aluminides have attracted interest due to their desirable mechanical properties, high corrosion resistance, and cost-effectiveness. Their higher yield strength compared to steels and nickel- or cobalt-based alloys makes them ideal for high-temperature applications.

This study investigates the mechanical behavior of Fe–28 at.% Al iron aluminide over a wide temperature range. The material was produced from elemental powders using various methods, including vacuum sintering, hot forging, and argon arc melting. A novel consolidation method — Direct powder forging — has been proposed for iron aluminide, enabling the production of high-strength material directly from elemental powders, with a yield strength of up to 190 MPa at 700°C [5, 6].

The enhancement of high-temperature strength (250–350 MPa at 700°C) and creep resistance in forged iron aluminide is achieved through microstructural refinement and alloying with additional elements (Mo, Ni), which induce the formation of disordered crystalline solid solution structures.

#### References

1. Lucacci, G. "Steels and alloys for turbine blades in ultra-supercritical power plants." *Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants*. Woodhead Publishing, 2017. 175-196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100552-1.00007-5>
2. Nomoto, H. "Development in materials for ultra-supercritical and advanced ultra-supercritical steam turbines." *Advances in steam turbines for modern power plants*. Woodhead Publishing, 2022. 309-327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824359-6.00004-4>
3. Abe, Fujio. "Research and development of heat-resistant materials for advanced USC power plants with steam temperatures of 700 °C and above." *Engineering* 1.2 (2015): 211-224. <https://doi.org/10.15302/J-ENG-2015031>
4. Moszner F, Peng J, Suutala J, Jasna U, Damani M, Palm M. Application of Iron Aluminides in the Combustion Chamber of Large Bore 2-Stroke Marine Engines. *Metals*. 2019; 9(8):847.
5. Tolochyn, Oleksandr, et al. "Mechanical behavior of powdered iron aluminide Fe–28Al manufactured by direct powder forging." *Intermetallics* 175 (2024): 108537. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2024.108537>
6. Tolochyn, O. I., et al. "The Role of Deformation Conditions and Mo-Doping on the Evolution of Structure and Mechanical Properties of Powdered Iron Aluminide." *JOM* (2025): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11837-025-07249-7>

УДК 621.91.01

## МЕХАНІЗМИ ЗНОСУ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН ПРИ МЕТАЛООБРОБЦІ

Г. М. ПОХИЛЕНКО, старший викладач

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [pokhilenko@nubip.edu.ua](mailto:pokhilenko@nubip.edu.ua)*

Ідеальний інструментальний матеріал повинен бути твердим, для забезпечення стійкості до зношування по задній поверхні і деформації, міцним, щоб уникнути поломки ріжучої кромки, хімічно інертним до матеріалу заготовки, хімічно стійким до окислення і дифузії, стійким до різких змін температури.

Але в важких умовах металообробки продуктивність пластин з часом роботи падає із-за їх зношування. Існують різні механізми зношування. До них відносяться:

- механічний, сколи на ріжучій крайці, це результат механічних перевантажень;
- термічний, перепади температури викликають утворення тріщин, а висока температура призводить до пластичної деформації (PD) ріжучої кромки;
- хімічний, виникає через хімічної реакції між матеріалом заготівлі та різальним інструментом;
- абразивний, відбувається через стирання, що викликається твердими компонентами матеріалу заготівлі, наприклад SiC у разі чавуну;
- адгезійний, при обробці в'язкого матеріалу відбувається наростоутворення на крайці.

Розрізняють основні види зносу ріжучих кромок. Найбільш поширеним видом зношування є зношування по задній поверхні (абразивний механізм). Він виникає на задній поверхні пластини (інструменту). При різанні пластина стирається по задній поверхні через тертя по поверхні заготовки. Зношування, як правило, починається на ріжучій кромці і поступово поширюється вниз. Зниження швидкості різання та одночасне збільшення подачі підвищує стійкість інструменту при збереженні продуктивності.

Лункоутворення (хімічний механізм) виникає внаслідок контакту стружки із передньою поверхнею пластини (інструменту). Рішенням є зниження швидкості різання, вибір відповідної геометрії та більш зносостійке покриття пластини (інструменту) підвищують стійкість інструменту.

Пластична деформація (термічний механізм) - незворотна зміна форми ріжучої кромки, де мало місце або вдавлювання кромки або її просідання. Причиною є те, що ріжуча кромка піддається впливу великих сил різання та високих температур, внаслідок чого виникає напруга, що перевищує межу плинності матеріалу інструмента. Пластичній деформації можна запобігти

шляхом використання більш теплостійких сплавів або використання покриття, яке підвищує стійкість до пластичної деформації пластини (інструменту).

Відшаровування зазвичай відбувається при обробці в'язких матеріалів, схильних до налипання. Відбувається коли ріжуча кромка піддається розтягуванню (адгезійний знос). Це може призвести до відшарування покриття або нижніх шарів основи. Рішенням може бути підвищення швидкості різання або вибір пластини з більш тонким покриттям.

Термічні тріщини – це вузькі розриви на ріжучій кромці. Деякі тріщини не виходять за межі покриття, інші ж досягають основи. Тріщини зазвичай перпендикулярні кромці. Тріщини утворюються внаслідок частих коливань температури. Щоб уникнути утворення тріщин необхідно обрати більш міцний сплав і забезпечити подачу охолоджуючої рідини або виключити її використання.

Викрашування – це незначне пошкодження ріжучої кромки. Різниця між викрашуванням і сколами полягає в тому, що при викрашуванні можна продовжувати використання ріжучої пластини. Існує багато механізмів зносу які викликають викрашування. Однак найбільш поширеними є термомеханічний та адгезивний. Для мінімізації викрашування можна використовувати різні профілактичні заходи, залежно від того, які механізми зносу його викликали.

Сколи - це відламування великої ділянки ріжучої кромки, при якій ріжуча пластина більше не може працювати. Причиною може бути те, що ріжуча кромка зазнала більшого навантаження, ніж вона здатна витримати. Це може бути наслідком занадто сильного зносу, який призвів до збільшення сил різання. Скіл також може статися передчасно через неправильний вибір режиму різання або проблем зі стабільністю налагодження верстата. Щоб вирішити цю проблему необхідно з'ясувати вид зносу та запобігти йому, вибравши відповідний режим різання та перевіривши стабільність налагодження.

Наростоутворення (адгезійний знос) - це нашарування обробляемого матеріалу на передній поверхні пластини (інструменту). Матеріал, що обробляється, наростає на верхній частині ріжучої кромки, в результаті кромка ізолюється від заготовки. Збільшуються сили різання, що призводить до відшаровування та зняття частин покриття і навіть шарів основи. Запобігти наростоутворенню можна збільшенням швидкості різання. При обробці більш м'яких, в'язких матеріалів допоможе гостріша кромка.

Утворення проточин характеризується надмірним локалізованим ушкодженням головної ріжучої кромки на максимальній глибині різання, але може мати місце і на допоміжній кромці. Найчастішою причиною утворення проточин є хімічне зношування. Іншою причиною може бути нерівномірне збільшення адгезійного чи термічного зносу. У випадку з матеріалами, схильними до наклепування зменшують кут у плані або змінюють глибину різання.



***Секція 7 «Надійність будівель, споруд і  
технічних систем у будівництві»***

UDC 624.15

# DETERMINATION OF THE COLLAPSE PROBABLE RISK BASED ON COMPARISON OF THE STRESS STRAIN STATE OF THE BUILDING FRAME FROM VARIATIONS BY TECHNOLOGICAL LOADS

**Ye. A. BAKULIN<sup>1</sup>**, Cand. of Eng. Sc. Associate Professor;  
**O. O. KARPUSHYN<sup>2</sup>**, student of 2<sup>nd</sup> year master's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulin\\_evgeniy@nubip.edu.ua](mailto:bakulin_evgeniy@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [karpik6688@gmail.com](mailto:karpik6688@gmail.com)

The main property that determines the reliability of building structures is their failure-free operation—the ability to maintain the specified design functions throughout their entire service life.

Compliance with applicable building codes and regulations ensures that structures meet the design reliability level (the probability of failure of these structures does not exceed  $2.4 \times 10^{-6}$ ).

Given the complex nature of construction risks (most of which cannot be described using strictly deterministic cause-and-effect relationships), the main source for identifying construction risks is lists of risks at similar facilities, or their identification during technical surveys, monitoring, expert assessments, author observations, inspections, etc [1, 2].

Based on statistical data on the distribution of accidents, a scale of reliability assessments based on the probability of an accident has been adopted (Table 1).

Table 1

## Reliability rating scale based on accident probability in expert assessments

| Conditional reliability $\beta$ | Probability of accidents per year | Reliability rating scale |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 0.999                           | $10^{-6}$                         | Good                     |
| 0.8                             | $10^{-5}$                         | Satisfactory             |
| 0.6                             | $10^{-4}$                         | Unsatisfactory           |
| 0.4                             | $10^{-3}$                         | Unacceptable             |

The objective of the study is to determine the probability of destruction of the building frame from various most unfavorable variations of the effect of building loads [3].

When constructing the structural model of the frame of the designed building, it was assumed that all structural elements are made of idealized material with the preservation of basic physical and mechanical properties. Structural model of the building (Fig. 1), according to [4, 5].

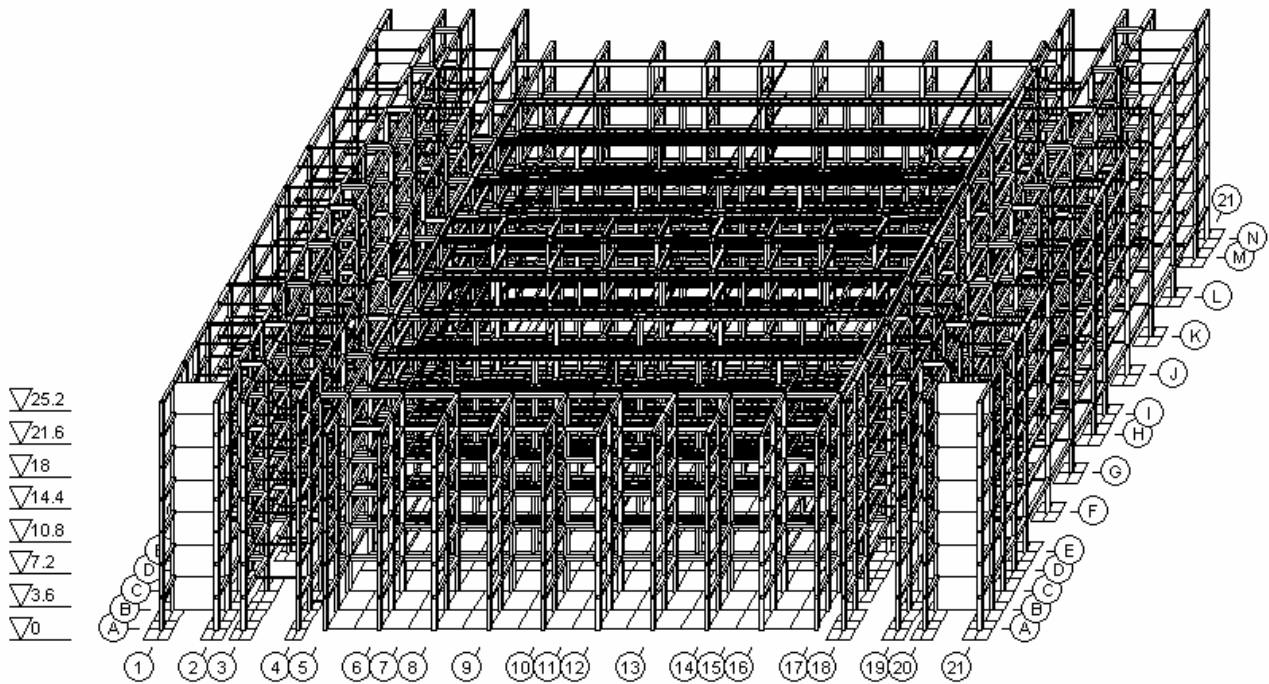
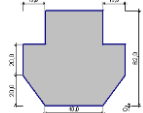


Fig. 1. Structural model of the frame of the projected building

The main material used in the reinforced concrete structures of the building is class concrete. C25/30, modulus of elasticity  $E = 3.06 \times 10^6 \text{ t/m}^3$ , Poisson's ratio  $\nu = 0.2$ , concrete density  $\rho_0 = 2.5 \text{ t/m}^3$ . Geometric characteristics of main structures cross-sections are given in table 2.

Table 2

**Geometric characteristics of main structures cross-sections of the building frame**

| Type of rigidity | characteristics of main frame structures cross-sections                             |             |             |                                           |                                           |                 |               |               |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
|                  | $b$<br>(cm)                                                                         | $h$<br>(cm) | $EF$<br>(t) | $EI_Y$<br>( $\text{t} \cdot \text{m}^2$ ) | $EI_Z$<br>( $\text{t} \cdot \text{m}^2$ ) | $G_{KR}$<br>(t) | $GF_Y$<br>(t) | $GF_Z$<br>(t) |
| 1                | 40                                                                                  | 40          | 489600      | 6528                                      | 6528                                      | 4387            | 163200        | 163200        |
| 6                | 60                                                                                  | 40          | 734400      | 9792                                      | 22032                                     | 9574            | 244800        | 244800        |
| 2                |  |             | 1034280     | 27694                                     | 30200                                     | 10677           | 344760        | 344760        |

The following tasks were performed in the work:

Automatic selection and analysis of the largest values of displacements and forces in the structural elements of the frame of the designed building (Table 3) were performed.

Table 3

**Maximum characteristics of the stress-strain state of building frame structures caused by various variations in technological loads**

| №<br>Down. | Moving |     |        | Efforts |        |        | Note    |
|------------|--------|-----|--------|---------|--------|--------|---------|
|            | $X$    | $Y$ | $Z$    | $N$     | $M_y$  | $Q_z$  |         |
| $I$        | 2      | 3   | 4      | 5       | 6      | 7      | 8       |
| 3          | -0.23  | 0   | -12.13 | -95.35  | -20.95 | -7.19  | columns |
|            |        |     |        | 10.01   | -17.07 | -10.69 | beams   |
| 4          | -0.3   | 0   | -17.73 | -134.15 | -28.62 | -10.09 | columns |
|            |        |     |        | 13.02   | -42.93 | -29.86 | beams   |
| 5          | -3.02  | 0   | -11.26 | -56.09  | 19.06  | -6.54  | columns |
|            |        |     |        | 8.61    | 10.16  | 9.56   | beams   |
| 6          | -3.62  | 0   | -16.67 | -77.02  | 26.53  | -9.37  | columns |
|            |        |     |        | 11.41   | 28.16  | 27.89  | beams   |
| 7          | 3.01   | 0   | -12.47 | -96.64  | -19.77 | 6.44   | columns |
|            |        |     |        | 9.67    | -15.89 | 10.24  | beams   |
| 8          | 3.57   | 0   | -18.14 | -135.65 | -27.11 | 9.16   | columns |
|            |        |     |        | 12.58   | -41.31 | 29.47  | beams   |
| 9          | 0.06   | 0   | -9     | -79.46  | 8.31   | 4.58   | columns |
|            |        |     |        | -5.22   | -13.94 | 9.79   | beams   |

Based on the calculation of the SSS of the building frame under the action of various variations of non-design technological loads, the conclusions can be drawn:

1. With regard to forced displacements, there are some deviations from the design of the structural elements of the frame, which indicates insufficient spatial rigidity of the frame. To prevent deformations from non-design loads, it is necessary to increase the spatial rigidity of the frame by installing diaphragms.

2. The deflection of the beams does not exceed the standard values.

3. Under these conditions, the deflection of individual floor slabs exceeds the standard values and amounts to 2.7 cm.

4. The probability of accidental destruction of the building frame may be caused by unfavorable distribution of strength of structural elements and loads, which constitutes  $2.0 \times 10^{-6}$ .

5. In general, the probability of destruction of the building frame can be recognized at its conditional reliability within the range 0,75-0,8 that is  $10^{-5}$  on a scale of "Satisfactory."

### References

1. Bakulin Y.A., Yakovenko I.A., Bakulina V.M. Engineering protection and prepatation of territories : study guide. Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. 205 p.
2. Ключев В.В., Бакулін Є.А. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації.

*Будівельні конструкції. Теорія і практика.* 2024. № 15. С. 86–96.  
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>

3. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навч. посіб. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 264 с. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>

4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за дисциплінами «САПР у будівництві», «Моделювання будівель та споруд сільськогосподарського призначення» підготовки фахівців ОС «Магістр» / уклад.: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. К. : НУБіП України, 2021. 104 с. <http://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9717>

**UDC 692.23**

## **COMPREHENSIVE HYDRO- AND SOUND INSULATION OF INTER-FLOOR SLABS: TECHNICAL ASPECTS AND OPERATIONAL ADVANTAGES OF COMBINED ROLL MATERIALS**

**V. M. BAKULINA<sup>1</sup>**, Senior Lecturer;

**O. V. BRANITSKA**, student of 3<sup>d</sup> year bachelor's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua)

Modern construction places high demands on indoor comfort and operational reliability [1, 2 & oth.], where comprehensive protection against moisture and excessive noise plays a key role. The most effective technological solution for achieving these goals is the use of multifunctional roll-type hydro-acoustic insulation materials, which make it possible to address two critically important tasks simultaneously within a single layer. Structurally, such materials are based on a combination of a high-strength reinforced bitumen core and an elastic sound-absorbing layer made of polyester fiber.

This combination creates a reliable barrier: the polyester component effectively dissipates the energy of impact waves generated by walking or moving furniture, while the bitumen component ensures complete water impermeability, making these materials indispensable for “floating floor” systems.

The structural efficiency of modern insulation solutions is based on a complex multilayer design, where each component is responsible for a specific protective function, allowing the material to perform effectively in two critical directions at



once. The primary element is a specialized bitumen membrane that undergoes additional reinforcement to significantly increase its service durability.

This dense layer serves as a reliable waterproofing barrier, completely blocking moisture diffusion and preventing any liquid leakage through inter-floor slabs. Thanks to the physico-chemical properties of the bituminous composition, the base forms a hermetic coating that maintains its integrity even when exposed to the aggressive environment of fresh concrete mortar during construction works [3].

The functionality of the material is harmoniously complemented by an elastic bottom layer made of high-quality polyester fiber, securely bonded to the bitumen base. This layer has a special porous structure designed for effective absorption and dissipation of the kinetic energy of impact noise caused by footsteps, the dropping of household items, or the movement of furniture. The combination of these two dissimilar components forms a monolithic structure with exceptionally high tensile strength of at least 270 *N*. Such mechanical resistance is critically important, as it guarantees protection against tearing and indentation during the installation of heavy screeds, ensuring the long-term durability of the insulation system throughout the entire service life of the building.

Thanks to an optimal thickness of approximately 5 *mm*, the material does not take up excessive space while demonstrating a high impact sound reduction index of up to 24 *dB*. In addition to acoustic protection, the material exhibits outstanding waterproofing properties, withstanding water pressure of up to 0.2 *MPa* and featuring minimal water absorption—no more than 2% per day.

High tensile strength (over 270 *N*) and heat resistance up to 85°C ensure the integrity of the insulation during the pouring of heavy cement-sand screeds and throughout subsequent operation. This makes it possible not only to protect premises from leaks but also to bring the facility into full compliance with modern acoustic standards by preventing the transmission of vibrations through inter-floor structures.

Beyond acoustic comfort, the use of this material guarantees the creation of a continuous hermetic barrier that provides reliable waterproofing of floor slabs. This is especially important at the screed-pouring stage, when it is necessary to prevent the leakage of cement laitance or excess moisture to lower floors.

During subsequent operation of the building, such an insulation layer continues to perform its protective function, safeguarding inter-floor slabs from accidental domestic water leaks. The use of this universal solution significantly increases the durability of building structures and ensures compliance with high comfort standards in residential and public spaces.

The high level of reliability and durability of this insulation solution is conditioned by the use of components that possess natural resistance to aggressive environmental factors, such as polyester and high-quality bitumen.

These materials are not subject to biological degradation, rot, or mold, allowing the insulation layer to retain its structural integrity and original physical and mechanical properties for an exceptionally long time. Thanks to this inert composition, the estimated service life of the system is at least 25 years, which effectively coincides with the interval between major overhauls of a building's internal engineering systems [5].

In summary, the use of integrated hydro-acoustic insulation materials can be considered the most rational and technologically justified approach in modern capital construction. The combination of high impact sound absorption with absolute water impermeability not only ensures acoustic comfort for occupants but also guarantees the long-term durability of the entire inter-floor structure. Due to resistance to aging and compliance with stringent engineering standards, such solutions create a reliable protective barrier that remains effective for decades, making living spaces safe, quiet, and functional.

### References

1. Русецька М.В., Бакулін Є.А. Базальтовий утеплювач – природний «зелений матеріал» для сучасних конструкцій. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2024. № 22. С. 5–15. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-01)
2. Русецька М.В., Бакулін Є.А. Сендвіч-панелі з базальтовим, мінераловатним і пінополістирольним утеплювачем: порівняльний аналіз властивостей на основі експериментальних досліджень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2025. № 23. С. 240–249. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-21)
3. Бакулін Є.А., Байдак У.В. Використання профільованих геомембран при гідроізоляції фундаментів. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 115-ї річниці від дня народження д.т.н., професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце президента УАСГН КРАМАРОВА В.С. «Крамаровські читання», (24–25 лютого 2022 р. м. Київ). – К. : НУБіП України. С. 345–347.
4. Бакулін Є.А., Дроздовський М.М. Плити для теплої підлоги при системі водяного підігріву будівель. Збірник тез доповідей 76-ї всеукраїнської науково-практичної студентської онлайн-конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (26–27 квітня 2023 р., м. Київ). К. : НУБіП України. С. 29–30.

5. Бакулін Є.А., Гонта В.О. Сучасні технології та матеріали у покрівельному будівництві: підвищення якості та тривалості конструкцій. Зб. тез доп. XI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) (22–23 лютого 2024 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2024. С. 374–376.

UDC 624.15

## ENGINEERING SURVEYS FOR WATER SUPPLY SYSTEMS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

Ye. A. BAKULIN<sup>1</sup>, Cand. of Eng. Sc. Associate Professor;  
O. Ye. PRYNTSYPAL<sup>2</sup>, student of 1<sup>st</sup> year master's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [oleksandrprincipal@gmail.com](mailto:oleksandrprincipal@gmail.com)

Agricultural enterprises are an important component of the Ukrainian economy [1], as they ensure the production of food and raw materials for industry. One of the key conditions for their efficient operation is reliable and uninterrupted water supply.

Water is used for livestock watering, technological processes, irrigation of agricultural crops, sanitary and hygienic needs, and fire protection. Therefore, before designing and constructing water supply systems, it is necessary to carry out a set of engineering surveys that make it possible to substantiate technical solutions and ensure the safe operation of facilities [3].



Fig. 1. Engineering geological and hydrogeological surveys

**Concept and Significance of Engineering Surveys.** Engineering surveys are a set of works aimed at studying the natural, geological, hydrogeological, and man-made conditions of the construction area. For water supply systems of agricultural enterprises, engineering surveys are of particular importance, since the choice of

water source, the type of water intake structures, pipeline routing, and the durability of the entire system depend on the accuracy of the obtained data.

The main purpose of engineering surveys is to determine the feasibility of constructing water supply facilities, assess the quality and quantity of water resources, and predict the impact of the system on the environment [5].

**Main Types of Engineering Surveys.** When designing water supply systems for agricultural enterprises, the following main types of engineering surveys are carried out:

**Engineering and Geodetic Surveys.** These include topographic surveying of the area, determination of terrain relief, existing buildings, engineering networks, and natural obstacles. Geodetic data are necessary for the proper placement of water intake structures, pumping stations, reservoirs, and the routing of water supply networks.

**Engineering and Geological Surveys.** During these works, the composition, properties, and bearing capacity of soils are studied. This makes it possible to determine the conditions for laying the foundations of water supply structures and to assess the risks of subsidence, landslides, or flooding of the territory [5]. For agricultural facilities [1], which are often located in open areas, such studies are especially important.

**Hydrogeological Surveys.** These surveys are aimed at studying groundwater, including its depth, yield, chemical composition, and suitability for economic use. Based on these data, the type of water intake is selected — a borehole, a well, or an open water source.

**Engineering and Environmental Surveys.** Their purpose is to assess the impact of water supply systems on the environment, in particular on soils, water resources, and adjacent territories. For agricultural enterprises, it is important to prevent water pollution caused by livestock waste and agrochemicals, fig. 2.



Fig. 2. Water intake structures on a farm

**Specific Features of Water Supply for Agricultural Enterprises.** Water supply systems in the agricultural sector have a number of specific features. Firstly, water consumption is often uneven and depends on the season, weather conditions, and type of production. Secondly, different requirements are imposed on water quality: they may vary for livestock watering, crop irrigation, and technological



processes. Therefore, engineering surveys should take into account the prospects for enterprise development and possible increases in water demand.

In addition, agricultural facilities are often located far from centralized water supply networks (fig. 3), which necessitates the creation of autonomous systems with their own water intake structures intake structures.



Fig. 3. Laying water supply networks

**Significance of Engineering Survey Results.** The results of engineering surveys are used to develop design documentation and select optimal technical solutions. They make it possible to reduce the risk of accidents, lower construction and operation costs of water supply systems, and ensure compliance with regulatory requirements.

High-quality engineering surveys are a guarantee of the reliability and durability of water supply systems, which is especially important for the uninterrupted operation of agricultural enterprises.



Fig. 4. Water quality control at the enterprise

**Conclusions.** Thus, engineering surveys are an integral part of the design process of water supply systems for agricultural enterprises. They make it possible to comprehensively assess the natural and man-made conditions of the territory, ensure the rational use of water resources, and minimize negative environmental impacts. Conducting engineering surveys contributes to increasing the efficiency of agricultural production and the sustainable development of agriculture as a whole.

## References

1. Marienkov, M., Yakovenko, I., Bakulin, Y., Babik, K. Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18)
2. Бакулін Є.А., Федун О.С. Розвиток будівельної галузі в умовах воєнного стану. Зб. тез доп. XXIV Всеукраїнської конф. наук.-пед. прац., наук. співр. та асп. «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (10–11 квітня 2025 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2025. С. 51–54.
3. Ключев В.В., Бакулін Є.А. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2024. № 15. С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>
4. Yakovenko M., Nesterenko O., Tytarenko V., Bakulin Y., Banakh A., Vapnichna V., Berchun Y., Kaliukh I. Application of geodetic methods to refine boundary conditions in digital twins of war-damaged multi-story buildings. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2025. Vol. 5. P. 61–77. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003951>
5. Bakulin Y.A., Yakovenko I.A., Bakulina V.M. Engineering protection and prepatation of territories : study guide. Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. 205 p.
6. Бакуліна В.М., Махов А.Л. Комплексне вирішення проблем підтоплення історичної забудови // Зб. тез доп. XI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) (22–23 лютого 2024 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2024. – С.414–418.

UDC 624.15

## INNOVATIVE STRUCTURAL TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

**Ye. A. BAKULIN**<sup>1</sup>, Cand. of Eng. Sc. Associate Professor;  
**I. V. FEDORENKO**<sup>2</sup>, student of 2<sup>nd</sup> year bachelor's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
<sup>1</sup>E-mail: [bakulin\\_evgeniy@nubip.edu.ua](mailto:bakulin_evgeniy@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [igogor505@gmail.com](mailto:igogor505@gmail.com)

Artificial intelligence or in short AI can be defined as ‘digital systems capable of performing tasks requiring human-like intelligence, such as learning, reasoning and inferring’. While intelligent digital systems (such as computer vision) have been in use in construction for several decades, more recent breakthroughs in deep learning architecture and the subsequent release of free-to-use web-based generative AI tools



have propelled AI, and its potential use on the construction industry's 'wicked' problems (defined by their complexity, additionality and data availability), into the limelight. Main reason for the slow but grows of AI usage is actually quite simple, foremost to increase the productivity in the areas of the construction, to decrease time it takes to finish one project and to manage multiple projects [1, 2].

As the technology is growing rapidly it gives a lot of new opportunities and re shape the industry as a whole, both in good ways and in bad ways. And although it may seem like using artificial intelligence is no brainer but actually it comes with some liabilities, as it requires in most cases almost constant supervision as even though it is great for really simple stuff, it'll struggle in more complex tasks and requires as additional finance and time for AI to train new datasets for coherent tasks.

The survey of total 2200 responses has been made recently across the world, from which: 48% came from the UK, 19% from Asia Pacific (APAC), 14% from the Middle East and Africa (MEA), 10% from the Americas and 8% from Europe. All survey questions and response options were designed to minimize sentiment bias, social bias and response bias. Responses from the online surveys were analyzed using a spreadsheet tool.

In 2025, AI emerged as the leading construction technology for increased investment, with 56% of surveyed investors planning to allocate more funds to AI compared to the previous year [1–3]. Despite the increasing attention on AI within the construction sector, actual adoption remains limited (fig. 1). Approximately 45% of respondents reported no AI implementation in their organizations, while another 34% are in early pilot phases, highlighting cautious experimentation rather than widespread operational use.

Additionally, the 7% of respondents who were unsure about their organization's AI adoption status may appear insignificant at first glance but could point to deeper underlying issues. This uncertainty may stem from AI capabilities being embedded in tools without clear labelling, a lack of formal communication around AI use or the absence of structured strategies to guide implementation.

Drones have come significantly down in price and are being used by a number of firms to track quantities of materials, progress, employee movements, security on job sites and safety issues. Firms in this industry say that when deployed the right way drones can decrease surveying and inspection time by as much as 90 percent. The big players in this arena include DroneDeploy, Pix4D and Propeller Aero [5]. While we're still a way off from humanoid robots replacing workers there are other types of robots that are already performing functions on a job site alongside their human counterparts.

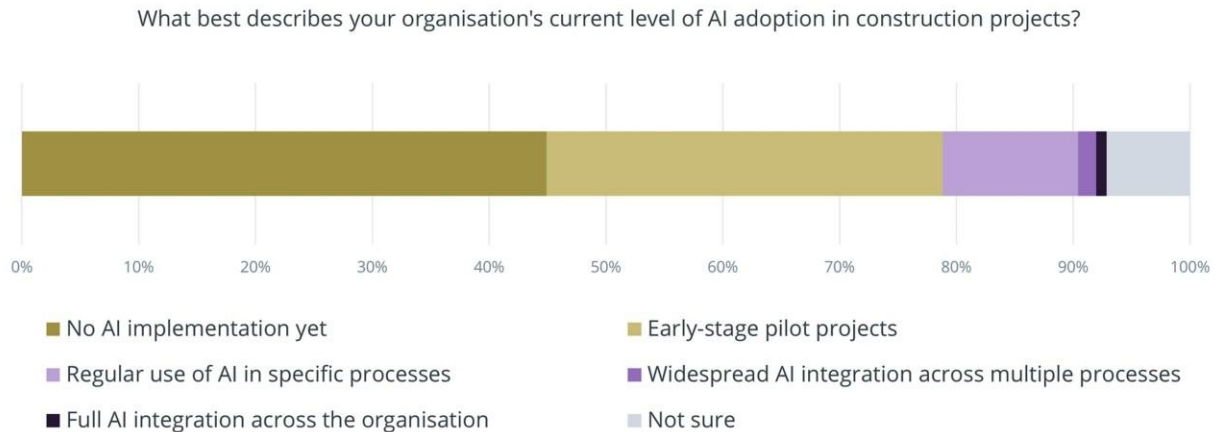


Fig. 1. Levels of AI adoption in construction projects globally

For example, robots made by Canvas (fig. 2) can perform drywall finishing and create a “digital twin” of all work performed for quality assurance. Products from Dusty Robotics will map out project areas and print full-scale floorplans directly onto slabs, eliminating layout errors and reducing rework. Boston Dynamics sells a robot dog called Spot which can reach places deemed hazardous or unsafe for inspections, safety checks and observation.



Fig. 2. An example of one of canvas's robotics operated by an AI [3]

Procore is a major software player in the construction industry and what they're doing to advance AI should be watched closely. The company has recently rolled out its Procore Assist which serves as a conversational AI assistant that provides contextually relevant answers on-demand and helps their users to find information needed from specs, RFIs, submittals, and building codes in seconds.

Autodesk's Construction Cloud is leveraging AI to better predict project risks from thousands of prior jobsite datasets, identify subcontractor performance issues before they impact schedules and helps to detect quality and safety issues.

**Conclusion.** To sum up we it won't be long till we see even more cases where in construction the AI is going to be used both physically and logically in some cases it will replace the workers [6], in others it will create new job places as for example to supervise and maintain.

## References

1. RICS artificial intelligence in construction report 2025. URL: <https://www.rics.org/news-insights/artificial-intelligence-in-construction-report>
2. AI In Construction: A Few Game-Changing Tools Every Contractor Should Know. URL: <https://www.forbes.com/sites/quickerbetteertech/2025/11/20/ai-in-construction-a-few-game-changing-tools-every-contractor-should-know/>
3. Canvas robotics. URL: <https://www.jlg.com/en/canvas/about-us>
4. Ключев В.В., Бакулін Є.А. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2024. № 15. С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>
5. Ключев В.В., Бакулін Є.А. Методи 3D-сканування із використанням безпілотних літальних апаратів для оцінки технічного стану будівель та споруд. *Наука та будівництво*. 2024. № 42(4). С. 60–66. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-7>
6. Обіход С.П., Яковенко І.А. Перспективи застосування штучного інтелекту в будівельній галузі. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) (20–21 лютого 2025 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2025. С. 552–555.

UDC 621.311

## ORGANIZATION OF HOT WATER SUPPLY AND HEATING WITH VACUUM SOLAR COLLECTOR APRICUS ETC

V. M. BAKULINA<sup>1</sup>, Senior Lecturer;  
M. V. HORBACHENKO<sup>2</sup>, student of 3<sup>d</sup> year bachelor's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua);

<sup>2</sup>E-mail: [btsi23-m.horbachenko@nubip.edu.ua](mailto:btsi23-m.horbachenko@nubip.edu.ua)

The general characterization of Apricus ETC systems is based on their ability to operate as a high-efficiency heat generator using the sun's energy to heat water, support domestic hot water systems, and low-temperature heating. Unlike flat panels, these collectors are designed to operate over a wide range of climatic zones, including regions with low temperatures and weak insolation. The international Apricus brand focuses on combining reliability and ease of installation, offering a solution where the manifold (main heat exchanger) is made of high-quality copper, and the thermal insulation is provided by dense glass wool or polyurethane foam. The

use of heat pipe vacuum tubes allows you to separate the hydraulic circuit from the absorber itself, which makes the system resistant to local breakdowns and facilitates service without stopping the entire energy cycle of the object [1, 5].

**The principle of operation of the collector** as a whole consists in the integration of the solar field into the general engineering network of the building. Solar radiation, falling on the tubes, is converted into heat, which accumulates in the copper main pipeline. A circulation pump pumps heated antifreeze (usually a propylene glycol solution) from a collector on the roof to a heat exchanger in a storage tank (boiler). An important feature of the work is the ability to capture diffuse (scattered) light in cloudy weather, which ensures stable heat generation even in the absence of a direct solar disk. The controller automatically adjusts the circulation rate depending on the temperature difference between the collector and the tank, ensuring maximum energy extraction efficiency at each time point.

**The energy efficiency** of Apricus ETC collectors significantly exceeds the indicators of flat collectors in winter. Thanks to the vacuum as an ideal insulator, heat loss to the environment is minimal, which allows maintaining a high efficiency even in frost  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Since the tubes have a cylindrical shape, they are always located perpendicular to the sun's rays in a certain part of them during the entire daylight hours (passive effect of tracking the sun). This allows you to obtain a coolant with a temperature of more than  $80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which is critical for systems where the solar field is used not only for washing hands, but also for disinfecting water (fighting legionella) or powering heat pumps.

**The advantages of Apricus** equipment are its durability and adaptability. The aluminum frame and manifold body are resistant to corrosion in high humidity or coastal climates. The modularity of the system allows you to increase the power by connecting collectors of different capacities in series or parallel (by 10, 20, 22 or 30 tubes). The service life of the system is more than 20 years, while the degradation of the selective coating is minimal. The presence of international certificates (Solar Keymark, SRCC) confirms compliance with the declared capacity and safety indicators, which is important for obtaining «green» loans or subsidies.

**Disadvantages and limitations** mainly relate to the initial stage of the investment. The cost of vacuum systems with heat pipes is higher than flat panels due to the complexity of manufacturing glass and copper assemblies. It is also worth considering the weight of the system and the need for professional calculation of roof loads. Glass tubes, despite their strength, remain vulnerable to vandalism or falling heavy objects. An important aspect is proper installation: the angle of inclination must be at least  $20\text{--}25$  degrees to ensure the correct operation of the thermosiphon effect inside the heat pipe (return of condensate down).

**The scope covers** both the private and industrial sectors. In residential buildings, collectors close up to 70% of the annual need for domestic hot water. For hotels where peak water consumption coincides with the summer season, the payback of the system is the fastest. In sports complexes with swimming pools, Apricus ETC allows you to significantly save on heating large volumes of water. Industrial

facilities use such systems for technological processes, where hot water is needed for washing lines, preparing solutions or heating production workshops of a large area.

**The value for energy-efficient construction** is determined by the global transition to renewable energy sources. The use of solar collectors allows the building to obtain a higher energy efficiency class, which increases its market value. Reduced gas combustion or electricity consumption for water heating is directly correlated with reduced carbon dioxide emissions. In the context of sustainable development, such systems ensure the energy security of the owner, protecting him from fluctuations in fossil fuel prices and providing comfort at the expense of free solar energy, fig. 1.



Fig. 1. Apricus ETC Solar Collector

The high outlet temperature and the ability to operate at negative temperatures make them a universal tool not only for domestic domestic hot water, but also for integration into complex industrial and heating schemes.

**The economic and operational feasibility** of using Apricus ETCs is evidenced by their extreme survivability: a lifetime of more than 20 years, combined with the possibility of modular replacement of components, minimizes maintenance costs, fig. 1. Despite the higher initial cost compared to budget solutions, these systems provide a quick payback by replacing expensive energy carriers (gas and electricity), especially at facilities with a constant high consumption of hot water.

**In the context of the global energy transition**, the introduction of such technologies is a practical step towards decarbonization and energy independence. Apricus ETC allows you to turn the roof of the building into an active energy asset that generates clean thermal energy every day, reducing the burden on the environment and increasing the overall energy efficiency of architectural projects of the future. It is a reliable, time-tested solution for those who focus on long-term benefits and sustainable development.

## References

1. Bakulin Ye.A., Yakovenko I.A., & Bakulina V.M. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction. Theoretical and scientific foundations of



engineering: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 2020. P. 70–96.  
<https://doi.org/10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II>

2. Бакулін Є.А., Головка І.Ю. Будівництво з конструкції CLT-панелей. Зб. тез доп. XXII Міжнар. онлайн-конф. наук.-пед. прац., наук. співробітн. та аспірін. «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (19–20 квітня 2023 р., м. Київ). К. : НУБіП України. С. 89–91.

3. Костира Н.О., Малишев О.М., Бакуліна В.М. Особливості технічного обстеження та паспортизації прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 1. P. 165–169. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.01.165>

4. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навч. посіб. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 264 с. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>

5. Bakulin Ye.A., Kliuiev V.V. Monitoring of the structural condition of construction objects. Зб. тез доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) (20–21 лютого 2025 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2025. С. 478–480.

УДК 624.01/07

## АРХІТЕКТУРНЕ РІШЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ ОДНОПОВЕРХОВИХ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Є. А. БАКУЛІН<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
М. В. ШЕВЧУК, студент 2-го курсу магістратури  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
<sup>1</sup>E-mail: [bakulin\\_evgeniy@nubip.edu.ua](mailto:bakulin_evgeniy@nubip.edu.ua)

Структура одноповерхових промислових будівель зазвичай базується на каркасній конструктивній системі [1], яка забезпечує просторову жорсткість та можливість перекриття великих прогонів, необхідних для виробничих процесів та розміщення великогабаритного обладнання, зокрема мостових кранів [4].

Метою досліджень є аналіз структурного формування каркасів одноповерхових промислових будівель загального призначення.

Об'ємно-просторова структура промислових будівель залежать від їх призначення, характеру розміщення в них технологічних процесів та

відзначаються великою різноманітністю [2]. Всі промислові будівлі класифікують.

Формування структури – це комплексне інженерно-архітектурне завдання, що вимагає врахування всіх аспектів майбутнього промислового підприємства.

При організації структури будівлі в каркасах, конструктивні елементи проектується з таким розрахунком, щоб загальна їх кількість і кількість монтажних стиків була мінімальна, перетин економічним, а виготовлення, транспортування та монтаж технологічними [1].

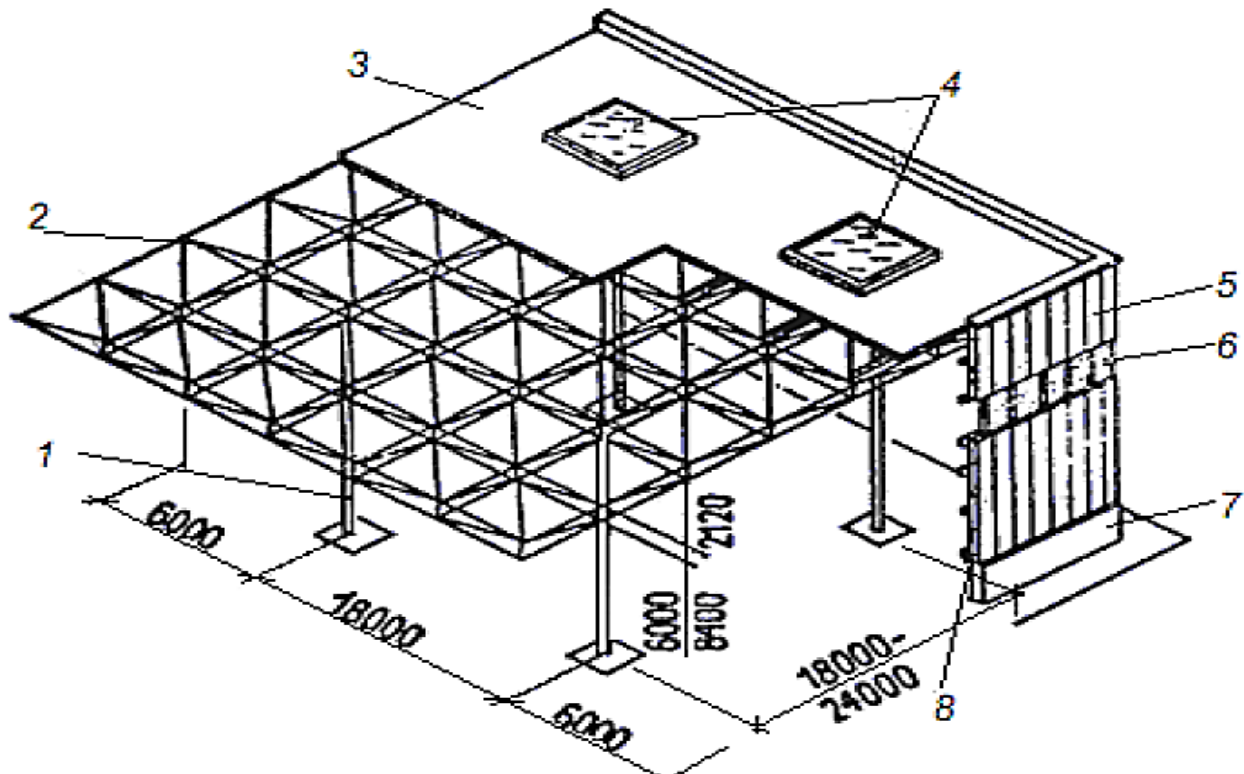


Рис. 1. Структурне покриття: 1 – колона трубчатая; 2 – трубчатая структура; 3 – покриття зі сталевго настилу; 4 – зенітні ліхтарі; 5 – стіни з ефективним утеплювачем; 6 – вікно; 7 – цоколь; 8 – ригель стінового фахверка

**Висновки.** Найбільша частина промислових будівель проектується по *Єдиній модульній системі* (ЄМС– сукупність норм та правил, які дозволяють ув’язати розміри збірних типових конструкцій з об’ємно-планувальними та архітектурно-конструктивними рішеннями проектуемого об’єкта).

Каркаси одноповерхових промислових будівель проектують як системи зі стійок і балок, що складаються з типових збірних конструктивних елементів заводського виготовлення і володіють необхідною міцністю, жорсткістю та стійкістю.

Типізація збірних конструктивних елементів полягає в постійному відборі найуніверсальніших для даного періоду об’ємно-планувальних і

конструктивних рішень, що дають найбільший економічний ефект в будівництві та експлуатації [3].

Будівлі виробничого призначення типізуються відповідно галузевого призначення, обмежені певною виробничою потужністю та секціями універсального призначення.

### Список використаних джерел

1. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навч. посіб. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 264 с. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>
2. Marienkov M., Yakovenko I., Bakulin Y., Babik K. Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2025. Vol. 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18)
3. Бакулін Є.А. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації / В.В. Ключев, Є.А. Бакулін // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2024. – № 15. – С. 86–96. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>
4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за дисциплінами «САПР у будівництві», «Моделювання будівель та споруд сільськогосподарського призначення» підготовки фахівців ОС «Магістр» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / уклад.: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. К. : НУБіП України, 2021. 104 с. <http://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9717>

UDC 624.15

### STABILITY STUDY OF COASTAL LANDSLIDE SLOPES AT THE CONSTRUCTION SITE

Ye. A. BAKULIN<sup>1</sup>, Cand. of Eng. Sc. Associate Professor;  
S. S. SUKHANOV, student of 2<sup>nd</sup> year master's degree study  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
<sup>1</sup>E-mail: [bakulin\\_evgeniy@nubip.edu.ua](mailto:bakulin_evgeniy@nubip.edu.ua)

According to DBN V.1.1-46:2017 “Engineering Protection of Territories, Buildings and Structures from Landslides and Rockfalls”, the **slope stability coefficient ( $K_{st}$ )** is defined as the ratio between the forces resisting a landslide and those causing it, determined through modeling of landslide processes [1]. Its calculation involves identifying the slip surface and evaluating the resultant forces that stabilize the slope and those that contribute to its potential movement, fig. 1.

According to the “Engineering-Geological Zoning Schemes of Ukraine”, the soil mass of the coastal slope belongs to a **landslide-prone area** [1]. Based on the presence of specific factors (DBN A.2.1-1-2008), the construction site is classified as an area of **increased geotechnical complexity**. Possible **geodynamic processes** include the displacement of soil layers, settlement of soil masses, and flooding of the coastal zone (Fig. 1). The physical and mechanical properties of the soil layers are presented in Table 1.

The seismicity of the construction area (according to DBN V.1.1-12:2014 [3], Table 1) is 5 points, and 6 points for responsibility class CC3. The soil category by seismic properties is Category III.

The study aims to select the most effective engineering solutions **to ensure the** regulatory slope stability, which will allow for the safe execution of construction and installation works during the erection of the designed structures.

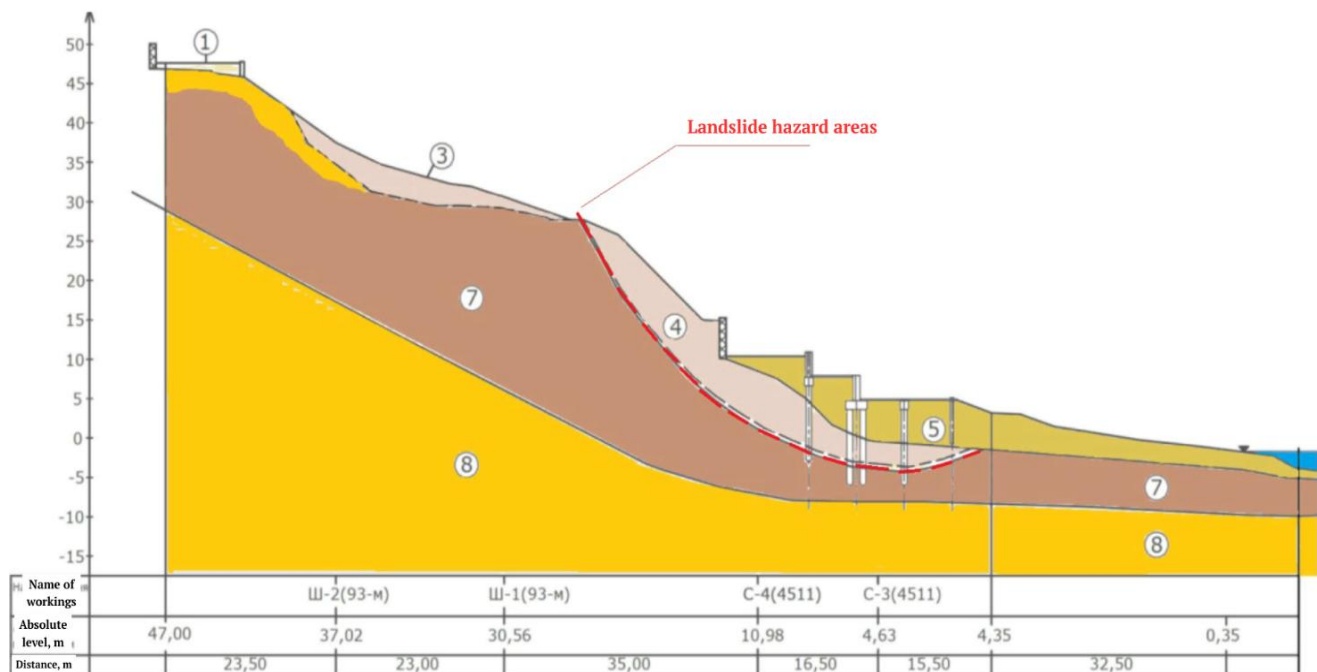


Fig. 1. Geological cross-section of the construction site showing the slip radii of the most hazardous landslide zones of soil layers No. 3 and No. 4

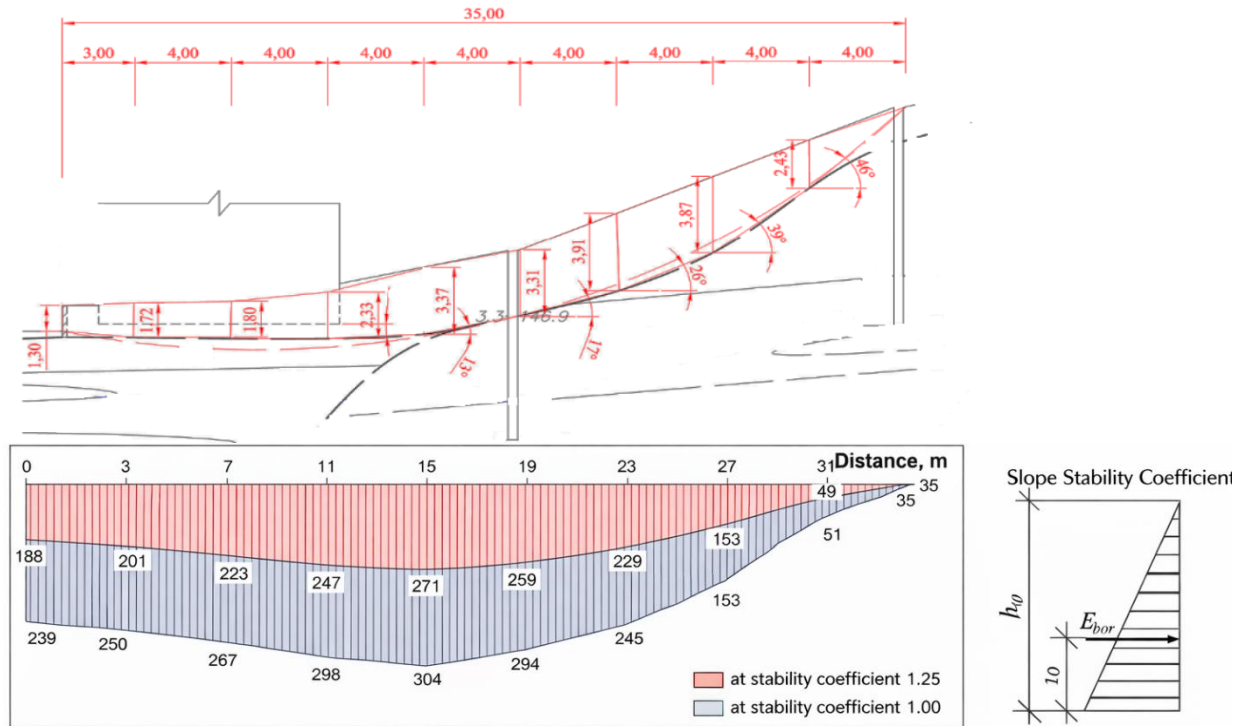


Fig. 2. The designed terracing (grading) of the coastal slope ensures the nominal regulatory slope stability coefficient  $k_{sn}=1,25$

During the planning of the coastal slope, the construction of terraces, and the lowering of its upper and middle sections relative to the designed building's vertical layout, the calculated slope stability coefficient **will be**  $K_{st} = 1.25 > 1.0$ , which complies with the regulatory requirements (Fig. 2).

Table 1

**Physical and mechanical properties of soil layers**

| No of Soil Layer (IGE) | Soil Type (Nomenclature)                                                              | Deformation Modulus, $E$ (MPa) | Density, $\gamma$ ( $t/m^3$ ) | Cohesion, $C$ (kPa) | Angle of Internal Friction, $\varphi$ ( $^\circ$ ) |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| 1                      | Vegetation layer – dark-gray sand with humus, containing roots, slightly moist, loose | —                              | —                             | —                   | —                                                  |
| 2                      | Yellow-gray fine sand, uniform, quartzitic, medium density, slightly moist, friable   | 23                             | 1.71                          | 10                  | 30                                                 |
| 3                      | Dark-gray sandy loam with thin interlayers of silt, quartzitic sand, containing       | 7                              | 1.80                          | 8                   | 20                                                 |



|   |                                                                                               |    |      |   |    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|------|---|----|
|   | plant residues, plastic and fluid                                                             |    |      |   |    |
| 5 | Gray fine sand, uniform, quartzitic, with occasional gravel inclusions, moist, medium density | 28 | 1.91 | 5 | 32 |
| 6 | Light-gray medium sand, quartzitic, moist, dense                                              | 36 | 2.00 | 6 | 35 |
| 7 | Gray sand, medium-coarse, quartzitic, slightly moist, with interlayers of fine sand, dense    | 30 | 1.89 | 5 | 30 |

**Conclusions.** Based on the analysis of the engineering and geological foundation of the construction site [4, 5], it has been concluded that there is a potential risk of movement of soil layers No. 3–No. 4 (dark-gray sandy loam, fluid and plastic) as a result of changes in natural and technogenic factors caused by the development of the specified area.

To reduce the stress within the soil mass of layers No. 3–No. 4, it is recommended to regrade the slope and perform partial terracing (cutting of the soil layer up to 1.0 m deep, in layers), followed by reinforcement of the upper layer with vegetation.

It should be taken into account that as the underground part of the building rises toward the “0” elevation mark, the pressure from the soil mass will be transferred to the structural frame of the designed building, and this effect must be considered in the structural design.

To ensure favorable hydrogeological conditions of the slope and prevent soil mass movement during operation, the project must include drainage measures to intercept surface and perched waters, mitigate the possible barrier effect, and control potential changes in the groundwater level.

### References

1. Bakulin Ye.A., Yakovenko I.A., Bakulina V.M. Engineering protection and preparation of territories : study guide. Kyiv: NULES of Ukraine, 2022. 205 p.
2. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., & Kostyra, N.O. (2017). Methods of retaining wall calculation. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: Engineering and Energy*, (262), 72–87.
3. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.
4. Бакулін Є.А., Яковенко І.А., Бакуліна В.М. Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування. *Achievements of Ukraine and EU countries*

*in technological innovations and invention : collective monograph.* Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. P. 1–43. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>

5. Marienkov M., Yakovenko, I., Bakulin Y., Babik K. Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18)

УДК 624.045.12

## **ВІДНОВЛЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ**

**Н. О. КОСТИРА**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

**В. А. НОВІКОВА**<sup>2</sup>, студентка 3-го курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [kostyra\\_n\\_o@nubip.edu.ua](mailto:kostyra_n_o@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [avokivonarel@gmail.com](mailto:avokivonarel@gmail.com)

В умовах військового стану на території України значна кількість промислових підприємств зазнала часткових або значних пошкоджень. Одними з найбільш уразливих елементів несучих конструктивних систем є збірні залізобетонні балки, які сприймають основні навантаження від покриттів та технологічного обладнання [1].

Пошкодження балок призводить до зниження експлуатаційної придатності будівель, а в окремих випадках – до повної зупинки виробничого процесу.

Повна заміна пошкоджених конструкцій часто є економічно та технологічно недоцільною, особливо в умовах дефіциту матеріалів і необхідності оперативного відновлення виробництва.

У зв'язку з цим актуальним є питання розроблення та застосування ефективних методів відновлення і підсилення збірних залізобетонних балок [2].

### **Характер пошкоджень збірних залізобетонних балок**

Пошкодження збірних залізобетонних балок промислових будівель у воєнних умовах мають складний і різноманітний характер. Найбільш поширеними є [2]:

- утворення нормальних і похилих тріщин у зоні розтягу внаслідок перевищення розрахункових навантажень або дії ударних хвиль;
- відшарування та руйнування захисного шару бетону;
- оголення та корозійне пошкодження робочої арматури;

- локальні руйнування перерізу балки внаслідок вибухів або падіння важких уламків;

- пошкодження опорних зон і порушення анкерування арматури.

Зазначені пошкодження призводять до зменшення жорсткості та несучої здатності балок, а також до прискореного розвитку корозійних процесів, що негативно впливає на довговічність конструкцій.

### **Оцінка технічного стану пошкоджених балок**

Перед виконанням відновлювальних робіт необхідним є проведення технічного обстеження пошкоджених конструкцій. Основною метою обстеження є визначення фактичного технічного стану балок, ступеня пошкодження бетону та арматури, а також залишкової несучої здатності.

За результатами обстеження балки можуть бути віднесені до таких *категорій* [2 та ін.]:

- конструкції, що придатні до експлуатації без підсилення;
- конструкції, що потребують відновлення або підсилення;
- конструкції, відновлення яких є недоцільним.

На основі отриманих даних приймається рішення щодо вибору раціонального методу відновлення або підсилення [2, 3].

### **Основні методи відновлення та підсилення балок**

Вибір методу відновлення залежить від характеру та ступеня пошкодження балки, умов експлуатації та наявних матеріально-технічних ресурсів.

До основних методів відновлення належать [4]:

- ін'єктування тріщин цементними або полімерними складами з метою відновлення цілісності бетону;
- відновлення захисного шару бетону із застосуванням ремонтних сумішей;
- антикорозійний захист та відновлення арматури.

У випадках значного зниження несучої здатності застосовуються методи підсилення, зокрема:

- влаштування сталевих обойм або накладок;
- підсилення зовнішньою арматурою;
- нарощування перерізу балки;
- використання композиційних матеріалів на основі вуглецевих або скляних волокон.

### **Особливості відновлення в умовах військового стану**

Відновлення залізобетонних конструкцій у воєнний період має низку особливостей. Основними з них є необхідність мінімізації строків виконання робіт, обмежений доступ до спеціалізованих матеріалів і техніки, а також потреба забезпечення безпеки персоналу [5].

Тому перевага надається технологіям, які не потребують повної зупинки експлуатації будівель, можуть виконуватися поетапно та з використанням доступних матеріалів. Раціонально організовані відновлювальні роботи

дозволяють у короткі терміни відновити функціональність промислових об'єктів.

### Список використаних джерел

1. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., Kostyra N.O. Volume-Spatial Decisions of Buildings and Structures : ed. man. Kyiv : NULES of Ukraine, 2025. 262 p.
2. Яковенко І. А., Бакулін Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К.: НАУ, 2013. 50с.
3. Dmytrenko Y., Yakovenko I., Kostyra N., Tomashevsky A. Variant Modelling of Strengthening Methods of the Reinforced Concrete Bending Structures Using the “LIRA-SAPR” Tools. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol. 712. P. 62–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_7)
4. Яковенко І.А., Мельничук І.М., Андросюк О.А. Пошук раціональних методів посилення зони розтягу згинальних залізобетонних конструкцій при реконструкції та відновленні будівель. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) (20–21 лютого 2025 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2025. С. 562–566.
5. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів (наказ Міністерства розвитку громад та територій України 28 квітня 2022 року № 65)

УДК 624.045.12

## ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Н. О. КОСТИРА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

Р. О. ПАВЛЮЧЕНКО, студент 3-го курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [kostyra\\_n\\_o@nubip.edu.ua](mailto:kostyra_n_o@nubip.edu.ua)

Сьогодні в Україні експлуатується велика кількість будівель і споруд, виконаних з бетону та залізобетону, а також кам'яних конструкцій, і значна їх частина потребує відновлення [3]. Така ситуація характерна для різних галузей господарства, де фізичне зношення окремих будівель і споруд майже досягло критичного рівня, коли може спостерігатися неконтрольоване зростання кількості аварій та аварійних ситуацій.

З вичерпанням експлуатаційного ресурсу об'єктів різного призначення завдання з підтримки їх працездатності та ремонту виходять на головні позиції в проектуванні та будівельній галузі [2]. До того ж помилки під час проектування та виконання будівельних робіт разом з агресивними впливами в процесі експлуатації спричинюють виникнення низки несправностей конструктивних елементів [5].

Встановлення справжніх причин пошкодження конструкцій є основною та необхідною передумовою їх ефективного ремонту [2]. Розуміння механізмів тих чи інших корозійних процесів дає можливість спрогнозувати їх розвиток, оцінити ефективність прийнятих технічних рішень з відновлення або захисту конструкції [6, 7].

Сучасна війна ставить перед інженерами виклик: поєднувати методи "швидкої стабілізації" (з використанням дерева та сталі) з методами "капітального відновлення" (композити, полімери). Використання архівних інструкцій у поєднанні з аддитивними технологіями дозволяє досягти максимальної живучості споруд.

### **Залізобетонні плити**

**Аналіз пошкоджень та допуски.** Згідно з нормативами воєнного часу, незначні пошкодження, такі як сколи бетону до 20–30 мм або тріщини в розтягнутих зонах шириною 3–5 мм, що не знижують несучу здатність, можуть тимчасово залишатися без виправлень, якщо вони не знаходяться в агресивному середовищі [1, 4]. У разі пожежі або значних деформацій обов'язковим є видалення бетону, що втратив міцність, та очищення арматури сталевими щітками від іржі та окалини.

### **Методи відновлення залізобетонних плит**

#### **Ремонт розірваної арматури**

**Зварний метод:** Використання вставок із круглого заліза або кутика. Довжина зварних швів має становити від 4 до 8 діаметрів арматури залежно від типу шва.

**Метод без зварки:** Застосування "гаків Консидера" з напуском на 30 діаметрів у розтягнутих зонах та 20Ø у стиснутих. При неможливості загину кінців напуск збільшується до 50Ø.

#### **Заробка пробоїн (бетонування)**

Перед укладанням нового бетону (класу не нижче С16/20) поверхню старого бетону насікають зубилом, промивають водою та обробляють цементним розчином складу 1:2–1:2.5.

Ефективним методом є **торкретування** (нанесення бетону під тиском), що особливо рекомендовано для відновлення стиснутих зон плит [5].

#### **Тимчасове відновлення дерев'яними щитами**

Для пробоїн розміром до 1,0 м використовуються дерев'яні щити, що спираються на неушкоджені ділянки або підвішуються до балок.



Для великих пробоїн (понад 1,0 м) встановлюються підсилюючі бруси, переріз яких розраховується відповідно до корисного навантаження (наприклад, для навантаження  $500 \text{ кг/м}^2$  при прольоті 4 м потрібні бруси  $100 \times 120 \text{ мм}$ ).

**Висновок:** Досвід відновлення конструкцій в умовах воєнного часу показує, що комбінація класичних методів бетонування з оперативними рішеннями (дерев'яні вставки, FRP-системи, сталеві накладки) дозволяє мінімізувати терміни робіт [6]. Ключовим фактором успіху є правильна підготовка контактної поверхні старого бетону [1, 5] та надійне стикування робочої арматури.

### Список використаних джерел

1. Яковенко І.А., Мельничук І.М. Проблематика визначення параметрів деформування залізобетонних конструкцій, посилені у розтягнутій зоні. Зб. тез доп. Х Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України ( 24–25 лютого 2023 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2023. С. 485–488.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіон України, 2018. 26 с.
3. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., Kostyra N.O. Volume-Spatial Decisions of Buildings and Structures : ed. man. Kyiv : NULES of Ukraine, 2025. 262 p.
4. Yakovenko I.A. Influence of reinforcement parameters on the width of crack opening in reinforced concrete structures / I.A. Yakovenko, Ye.A. Dmytrenko // Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : collective monograph. – Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. – P. 510–536. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-18>
5. Яковенко І. А., Бакулін Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К.: НАУ, 2013. 50с.
6. Dmytrenko Y., Yakovenko I., Kostyra N., Tomashevsky A. Variant Modelling of Strengthening Methods of the Reinforced Concrete Bending Structures Using the “LIRA-SAPR” Tools. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol. 712. P. 62–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_7)
7. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів (наказ Міністерства розвитку громад та територій України 28 квітня 2022 року № 65)

УДК 624.014.2

## ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КОЛОН ПРИ ПОШКОДЖЕНІ ВНАСЛІДОК ЕПІЗОДИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Н. О. КОСТИРА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

А. А. ДМИТРЕНКО, студентка 3 курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [kostyra\\_n\\_o@nubip.edu.ua](mailto:kostyra_n_o@nubip.edu.ua)

Надзвичайно важливе значення має своєчасне відновлення та посилення пошкоджених сталевих конструкцій для повернення їм несучої здатності та забезпечення стійкості будівлі. Використання сучасних інженерних методів, таких як: встановлення залізобетонних обойм, додаткових стояків або накладок дає змогу не лише ліквідувати наслідки деформацій, а й значно збільшити час до можливого обвалення конструкцій. Це критично важливо для забезпечення безпечної експлуатації та створення додаткового запасу часу для евакуації, особливо у випадках, коли пошкодження виникають внаслідок бомбардувань чи пожеж у наших містах та населених пунктах.

**Основні методи відновлення колон.** Залежно від ступеня пошкодження, роботи проводяться трьома способами [2 та ін.].

**Без розвантаження:** застосовується, якщо пошкодження не порушують нормальну експлуатацію (наприклад, погнутість решітки, невеликі вибоїни, місцеві пошкодження металу).

**З частковим або повним розвантаженням:** необхідно при значних деформаціях, зміщенні осей або загрозі втрати стійкості.

**З демонтажем:** найбільш капітальний метод для важких випадків, коли колона повністю втратила несучу здатність.

**Етапи відновлення при значних деформаціях.** Процес зазвичай поділяється на два етапи:

**Розвантаження та виправлення осі:** виправлення проводиться за допомогою відтяжок, тросів, домкратів або шляхом надрізів у місцях найбільшого вигину з наступним зварюванням.

**Виправлення окремих елементів:** заміна пошкоджених частин новими або їх підсилення.

**Методи посилення колон.** Три основні інженерні рішення.

– **Залізобетонна обойма** [2]. При підсиленні пошкодженої колони за допомогою залізобетонної обойми забезпечується монолітність та підвищується жорсткість колони. **Вимоги:** ретельне очищення металу від фарби та іржі; приварювання анкерних стержнів ( $\varnothing = 5\text{--}8\text{ мм}$ ) для зв'язку з бетоном; використання бетону класу не нижче С16/20. Захисний шар бетону має бути не менше 60 мм.

– **Встановлення додаткового підкранового стояка.** При підсиленні пошкодженої колони встановленням додаткового підкранового стояка відбувається розвантаження основної колони. Включає створення бетонної основи, монтаж стояка, розклинювання для передачі навантаження та подальше приварювання клинів.

– **Використання дерев'яних елементів (колод або брусів).** Підсилення пошкодженої колони накладками з колод або за допомогою обійми з дерев'яних брусів допускається як тимчасовий захід або для колон легкого/середнього типу. Дерев'яні накладки кріпляться болтами та хомутами. При цьому методі важливо враховувати усушку дерева та періодично підтягувати болти.

#### ***Розрахункові аспекти та технічні умови***

При розрахунку підсилення враховується площа перерізу підкранової гілки за спеціальними формулами, де  $F_{ne}$  – необхідна площа, що залежить від навантаження та коефіцієнта поздовжнього згину  $\varphi$ . Коефіцієнт  $\varphi$  для попередніх розрахунків сталевих елементів приймається рівним 0,7. Обов'язковою є щільна підгонка елементів підсилення до існуючої конструкції.

#### **Список використаних джерел**

1. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., Kostyra N.O. Volume-Spatial Decisions of Buildings and Structures : ed. man. Kyiv : NULES of Ukraine, 2025. 262 p.
2. Яковенко І. А., Бакулін Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К.: НАУ, 2013. 50с.
3. ДБН В.2.6-198-2014. Сталеві конструкції Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. Зміна №1 Чинна з 2022-09-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 190 с.
4. Костира Н.О., Бакуліна В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Металеві конструкції» для студентів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». К. : Вид. центр НУБіП України, 2021. 65с.
5. Dmytrenko Y., Yakovenko I., Kostyra N., Tomashevsky A. Variant Modelling of Strengthening Methods of the Reinforced Concrete Bending Structures Using the “LIRA-SAPR” Tools. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol. 712. P. 62–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_7)
6. Бакулін Є.А., Усенко М.В., Бакуліна В.М. Чисельне моделювання посилення сталевих підземних циліндричних резервуарів. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. 2024. Вип. № 28. С. 63–74. <https://doi.org/10.31650/2707-3068-2024-28-63-74>

УДК 624.014.072

## ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПРИ ПОШКОДЖЕНІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

**Н. О. КОСТИРА**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
**М. В. ГОРБАЧЕНКО**<sup>2</sup>, студентка 3-го курсу бакалаврату  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
<sup>1</sup>E-mail: [kostyra\\_n\\_o@nubip.edu.ua](mailto:kostyra_n_o@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [btsi23-m.horbachenko@nubip.edu.ua](mailto:btsi23-m.horbachenko@nubip.edu.ua)

**Актуальність відновлення сталевих ферм** у сучасних умовах обумовлена масовим руйнуванням промислової, логістичної та цивільної інфраструктури внаслідок бойових дій. Оскільки переважна більшість виробничих і складських будівель має покриття у вигляді сталевих ферм [1], їх пошкодження зупиняє роботу цілих підприємств [2, 3].

Повна заміна таких конструкцій є надзвичайно дорогою та тривалою процедурою, що вимагає великої кількості нового металопрокату та складних робіт з демонтажу. Саме тому відновлення та реконструкція існуючих ферм стає стратегічно важливим завданням, що дозволяє максимально швидко та економічно доцільно повернути об'єкти в експлуатацію.

**Характер пошкоджень сталевих ферм під час війни** має специфічну природу, що включає як прямі влучання, так і непрямі впливи. Типовими є пластичні деформації елементів від надлишкового тиску вибухової хвилі, осколкові пробиття стержнів, що порушують їхню цілісність, а також розриви у вузлах та зварних швах. Особливо небезпечною є втрата стійкості стиснутих поясів, навіть за умови збереження їхнього перерізу. Крім того, конструкції часто зазнають термічного впливу після пожеж, що призводить до відпуску сталі та зниження її несучої здатності, або інтенсивної корозії внаслідок затоплення при гасінні чи пошкодженні покрівлі.

**Обстеження пошкоджених ферм** є обов'язковим технічним етапом перед початком будь-яких робіт. Спеціалісти проводять візуальний огляд, інструментальний вимір геометричних відхилень від проектних осей та детальну перевірку на наявність тріщин і розривів у металі [5]. Контроль якості зварних швів та оцінка залишкової несучої здатності дозволяють прийняти обґрунтоване рішення: чи придатна ферма до підсилення на місці, чи потребує вона часткової заміни вузлів і стержнів, або ж рівень деструкції настільки високий, що конструкція підлягає повному демонтажу.

**Основні способи відновлення сталевих ферм** поділяються на кілька технологічних груп залежно від важкості ушкоджень.

**Підсилення елементів** застосовується при локальному зменшенні перерізу або втраті жорсткості стержня через приварювання сталевих накладок, встановлення додаткових кутиків або створення обойм із листової сталі (рис.1).

**Випрямлення деформованих елементів** (рихтування) може бути холодним або гарячим із застосуванням гідравлічних пресів та домкратів при поступовому контролі напружень.

**Заміна пошкоджених елементів** передбачає вирізання зруйнованої ділянки та зварювання нового стержня або використання вставок із кутиків, круглої сталі чи смуг.

**Відновлення вузлів** реалізується шляхом посилення фасонок, повторного проварювання швів або встановлення болтових накладок.

**Тимчасове забезпечення стійкості під час ремонту** в умовах військового стану вимагає особливих заходів безпеки. Перед початком робіт обов'язково виконується розвантаження конструкції [6]: знімається сніг, технологічне обладнання та обмежується доступ персоналу на покрівлю. Для підтримки пошкоджених вузлів монтуються тимчасові підкоси або інвентарні металеві рами (стійки). Важливо, щоб тимчасові опори передавали навантаження на надійну основу, забезпечуючи стабільність ферми на час зварювальних робіт, які тимчасово послаблюють метал через нагрів.

**Особливості відновлення в умовах війни** накладають жорсткі обмеження: обмежений доступ до об'єктів у прифронтових зонах, постійний ризик повторних обстрілів та гостра нестача нового металопрокату.

У таких умовах фахівці намагаються виконувати роботи з мінімальним демонтажем, використовуючи наявні на складі матеріали та мобільні зварювальні агрегати. Головною метою стає швидкість відновлення функціонування об'єкта, що часто змушує обирати найбільш прості, але надійні схеми підсилення, такі як шпренгельні системи або додаткові розпірки.

**Переваги реконструкції перед повною заміною** є очевидними: це у 3–5 разів дешевше і у 2–4 рази швидше, ніж нове будівництво. Такий підхід дозволяє суттєво зекономити сталь, яка є дефіцитним ресурсом, і часто дає можливість проводити ремонтні роботи без повної зупинки експлуатації об'єкта. Відновлення сталевих ферм має критичне значення для відбудови України, оскільки дозволяє в найкоротші терміни запускати логістичні вузли, склади та виробничі лінії, що є фундаментом для швидкого економічного відновлення деокупованих та постраждалих територій.

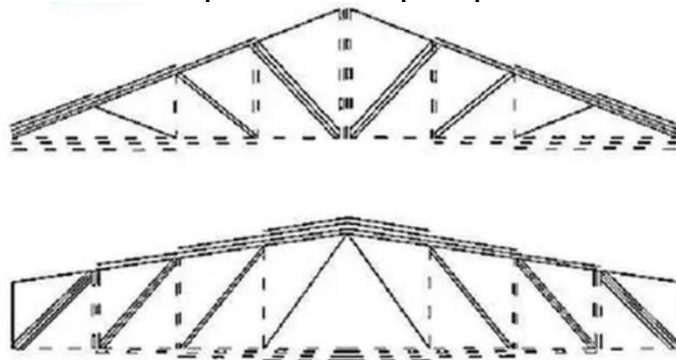


Рис. 1. Підсилення елементів ферм приварюванням сталевих накладок:

1 — \_\_\_\_\_ — стиск; 2 — - - - - - — розтяг



**Висновок** щодо відновлення сталевих ферм базується на принципі максимального збереження існуючих конструкцій. Використання методів правки, підсилення накладками та встановлення додаткових зв'язків дозволяє повернути будівлі її проектну міцність при мінімальних витратах. В умовах воєнного стану та подальшої відбудови, саме такі технології стають пріоритетними для оперативного відновлення промислового потенціалу країни.

### Список використаних джерел

1. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд: навч. посіб. К. : НУБіП України, 2024. 264с. <https://nubip.edu.ua/node/148110>
2. Білик С.І., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції. Том 2. Конструкції металевих каркасів промислових будівель: підр. для ВНЗ. Кам'янець-Подільський: Рута, 2021. 448 с.
3. Барабаш М.С., Костира Н.О., Томашевський А.В. Визначення напружено-деформованого стану та міцності пошкоджених несучих конструкцій інструментами ПК «ЛІРА-САПР». *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 1(007). С. 7-14. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.7.827>
4. ДБН В.2.6-198-2014. Сталеві конструкції Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. Зміна №1 Чинна з 2022-09-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 190 с.
5. Бакулін Є.А., Яковенко І.А., Бакуліна В.М. Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування. *Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : collective monograph*. Riga : Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2022. Р. 1–43. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>
6. Бакулін Є.А., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А., Бакуліна В.М. Результати аналізу причин руйнування сталевих ферм покриття конверторного цеху. Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (17–19 листопада, 2021 р., м. Харків). Харків, УкрДУЗТ, 2021. С. 87–88.

УДК 614.841

## ВОГНЕЗАХИСТ СТАЛЕВИХ ТА БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**В. М. БАКУЛІНА**<sup>1</sup>, ст. викладач;

**Р. О. ПАВЛЮЧЕНКО**, студент 3 курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua)

Не дивлячись на те, що метал не горить та не підтримує горіння, а бетон сам по собі має певну вогнестійкість, полум'я здатне призвести до великих руйнувань саме через їхню деформацію. Вогнезахисна обробка застерігає такі конструкції будівлі від нагрівання до критичної температури, тому це складова частина системи заходів протипожежної безпеки.

Засоби вогнезахисту підбираються індивідуально для кожного об'єкту з урахуванням вагових обмежень конструкції та необхідного ступеня вогнестійкості.

Для вогнезахисту бетонних та залізобетонних конструкцій широко використовується 3 види вогнезахисних матеріалів, що дозволяють підвищити вогнестійкість будівельних елементів до 240+ хвилин. Технічні рішення, що широко застосовуються в практиці вогнезахисту, дозволяють обрати як метод «сухого будівництва», так і метод оштукатурювання конструкцій, отримуючи при цьому вогнезахисні покриття з чудовим зовнішнім виглядом і високими експлуатаційними характеристиками.

Для підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій використовуються такі вогнезахисні матеріали:

→ **вогнезахисні (вогнестійкі) фарби для металу**, що виготовляються як на водній основі, так і на органічному розчиннику. Під впливом високих температур вогнезахисні покриття, які спучуються, створюють теплоізоляційний спінений шар, що захищає конструкції від впливу вогню;

→ **вогнезахисні штукатурки для металоконструкцій**, мають підвищену адгезію до поверхні, що захищається і застосовуються в широкому діапазоні вимог до вогнестійкості конструкцій – від 45 до 240 хвилин (від R 45 до R 240), а також є найбільш оптимальним рішенням, з точки зору ціни вогнезахисту;

→ **вогнезахисні плити**, виробляються різною товщиною і призначені для конструктивного вогнезахисту металоконструкцій. Облицювання вогнезахисними плитами за допомогою самонесучого каркасу створює теплоізоляційний екран, що підвищує вогнестійкість сталевих конструкцій, що захищається.

**Межа вогнестійкості:** Сертифікована до **R120** (120 хвилин) для сталевих конструкцій (за європейськими стандартами та українськими сертифікатами відповідності). У деяких випадках — до R150 при збільшеній товщині.

**Сертифікація:** Відповідає ДСТУ, європейським стандартам (EN), має сертифікати відповідності та протоколи випробувань (включаючи повномасштабні вогневі тести).

**Умови експлуатації:** Всередині приміщень (група Z2, Y за EAD). Для зовнішнього застосування або підвищеної вологості потрібен фінішний захисний шар (топкоут). **Термін служби:** 15–25 років за умови правильного нанесення та експлуатації.

Підвищення межі вогнестійкості **несучих сталевих** конструкцій (до **R210** / 210 хвилин, залежно від товщини металу, схеми монтажу та критичної температури).

Захист **залізобетонних** конструкцій (колони, плити перекриттів, стіни — до **REI 180** та більше).

Виготовлення **протипожежних дверей**, перегородок, самонесучих повітроводів, кабельних каналів та коробів.

Застосовується на цивільних, промислових об'єктах, у тому числі на об'єктах енергетики (ТЕС, АЕС), нафтогазової та металургійної галузей — при новому будівництві, реконструкції чи ремонті.

**Технічні характеристики:**

- **щільність:** 500–1000 кг/м<sup>3</sup>;
- **товщина плит:** 25, 30, 35, 40 мм (найпоширеніші — 25 мм та 40 мм)
- **розміри:** довжина 100–1500 мм (±10), ширина 100–1500 мм (±10) — можливі індивідуальні розміри;
- **міцність при стисненні:**  $\geq 4,3$  Н/мм<sup>2</sup>;
- **міцність при вигині:**  $\geq 2,4$  Н/мм<sup>2</sup>;
- **зовнішній вигляд:** однорідна, суцільна плита з рівними гранями, без тріщин, здуттів чи відшарувань;
- **група горючості:** НГ (негорючий);
- **термін служби:** до 25 років (за умови правильного монтажу та експлуатації в приміщеннях);
- **умови монтажу:** температура +5...+40 °C, вологість  $\leq 80\%$ ;
- **умови експлуатації:** від -30 °C до +60 °C (в приміщеннях).

Монтується зазвичай у вигляді самонесучого короба навколо конструкції, кріпиться металевими скобами/саморізами, шви герметизуються термостійким клеєм Ammokote КС (того ж виробника). Товщина та кількість шарів розраховуються індивідуально за проектом і сертифікатами.

### Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 13501-2:2023. Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість (крім складників вентиляційних систем) (EN 13501-2:2016, IDT). [Чинний від 2023- 11-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 48 с.
2. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні

вимоги. [Чинні від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 78 с.

3. Вогнезахисні рішення для сталевих будівництв : каталог / Укрстальконструкція. К. : [б. в.], 2023. 68 с. URL: <https://www.uscc.ua>.

4. Технічні характеристики та сертифікат відповідності [Електронний ресурс] / ТОВ «Ковлар Груп». <https://ammokote.com>

5. Бакулін Є.А., Ключев В.В. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2024. № 15. С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>

6. Башинський О.В. Оцінка несучої здатності сталевих балок перекриття в умовах високих температурних впливів. *Наука та будівництво*. 2024. Том 39 №1. С. 72-78. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-8>

УДК 624.042.7

## ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ОДНОПОВЕРХОВОГО МОДУЛЬНОГО БУДИНКУ

М. Г. МАР'ЄНКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с.;

Б. О. ХИМЕНКО<sup>2</sup>, аспірант 3-го року навчання;

І. В. ЖЕМЕЛІНСЬКИЙ<sup>3</sup>, аспірант 2-го року навчання

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [m.maryenkov@nubip.edu.ua](mailto:m.maryenkov@nubip.edu.ua);

<sup>2</sup>E-mail: [bogkhym@gmail.com](mailto:bogkhym@gmail.com); <sup>3</sup>E-mail: [smc.ilya@gmail.com](mailto:smc.ilya@gmail.com)

Натурні динамічні дослідження одноповерхового модульного будинку зі сталевим каркасом виконано для подальшої розрахункової оцінки сейсмостійкості конструкцій при впливах потужних землетрусів (інтенсивністю 8 та 9 балів [1, 2]). Динамічні навантаження на конструкції будинку було реалізовано під час встановлення на трейлер і перевезенні по дорогах з різним покриттям.

Загальний вигляд модульного будинку (котельня) під час динамічних випробувань в цеху заводу-виробника приведено на рис. 1.

Тому методика динамічних випробувань модульного будинку передбачала його перевезення на трейлері по дорогах з різною якістю покриття, що давало можливість забезпечити прискорення підлоги будинку більше  $6 \text{ м/с}^2$ .

Мета та задачі вібродинамічних досліджень: проведення натурних вібродинамічних досліджень з визначенням фактичних динамічних характеристик (частот та декрементів коливань при миттєвому знятті навантаження) та рівнів зареєстрованих віброприскорень конструкцій одноповерхового модульного будинку при підйомі та встановленні на трейлер (рис. 2) і перевезенні будинку по дорогах з різним покриттям (плити покриття



на території заводу, переїзд трамвайної колії, ґрунтова дорога). Задачами вібродинамічних досліджень є реєстрація горизонтальних та вертикальних коливань (прискорень) конструкцій будинку [3, 4].



Рис. 1. Модульний будинок перед початком динамічних випробувань

Розрахункові значення сейсмічних навантажень, які необхідні при проектуванні сейсмостійких модульних будинків, залежать від їх фактичних динамічних характеристик (частот, декрементів коливань). При сейсмічності будівельного майданчика 9 балів прискорення поверхні ґрунту досягають більше  $4 \text{ м/с}^2$ .

Обробка отриманих даних вимірювань і побудова часових сигналів та вузькосмугових спектрів віброприскорень конструкцій виконано за допомогою спеціалізованої програми «Сейсмомоніторинг». Результати динамічних досліджень – фактичні значення частот власних коливань, декрементів коливань, амплітуд горизонтальних та вертикальних віброприскорень конструкцій модульного будинку [5].

а)



б)



Рис. 2. Датчики прискорень встановлено на конструкціях стелі будинку (а) та два модульних будинка на платформі трейлера перед початком динамічних випробувань при перевезенні (б)

За результатами натурних динамічних випробувань одноповерхового модульного будинку отримано [5, 6]:



- частоти власних коливань будинку: у напрямку поперечної осі частота горизонтальних коливань 12,25 Гц; у напрямку поздовжньої осі 16,0 Гц;
- логарифмічний декремент коливань при горизонтальних коливаннях дорівнює 0,13;
- максимальні прискорення при підйомі будинку з підлоги 1,4 м/с<sup>2</sup>;
- максимальні прискорення при встановленні будинку на платформу трейлера 6,0 м/с<sup>2</sup>;
- максимальні прискорення при проїзді трейлера по дорожнім плитам на території заводу 9,0 м/с<sup>2</sup>.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні дії, правила щодо споруд (EN 1998-1:2004, IDT).
3. Баженов В. А., Дехтярюк Є. С. Будівельна механіка. Динаміка споруд. К. : ІЗМН, 1998.
4. Marienkov, M., Yakovenko, I., Bakulin, Y., Babik, K. (2025). Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18/](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18/)
5. Мар'єнков М. Г., Бабік К. М., Лисиця М.І., Хименко Б.О. Сейсмосахист малоповерхових великопанельних та модульних каркасних будинків від потужних землетрусів. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво*. 2024. №25. С. 22–31. <https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.022>
6. Мар'єнков М.Г., Хименко Б.О. Сейсмостійкість малоповерхових модульних будівель. Зб. тез доп. ХХІІІ Міжн. онл.-конф. наук.-пед. прац., наук. співр. та асп. «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (11–12 квітня 2024 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2024. С. 88–91.

УДК 624.042.7

## ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА КОНСТРУКЦІЇ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ ВІД ПОТЯГІВ ТА ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬ

М. Г. МАР'ЄНКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с.;

К. М. БАБІК<sup>2</sup>, к.т.н.;

Є. В. ФРІДЛІБ<sup>3</sup>, аспірант 3-го року навчання,

<sup>1,3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування

<sup>2</sup>ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

<sup>1</sup>E-mail: [m.maryenkov@nubip.edu.ua](mailto:m.maryenkov@nubip.edu.ua);

<sup>2</sup>E-mail: [babik@ukr.net](mailto:babik@ukr.net); <sup>3</sup>E-mail: [eugen.acoustic@gmail.com](mailto:eugen.acoustic@gmail.com)

Динамічні дослідження конструкцій станції метрополітену мілкого закладання у м. Києві проведено для визначення додаткових динамічних навантажень на фундаментну плиту та конструкції станції в період виконання бурових робіт із влаштування паль Ø1000 мм довжиною 24 м на відстані 2,4 м від зовнішньої стіни станції буровою установкою BAUER BG 36 при спорудженні торгово-розважального комплексу.

*Мета роботи* – визначити додаткові навантаження на конструкції станції метрополітену під час влаштування пального поля за допомогою бурового обладнання BAUER BG 36.

*Задачі динамічних досліджень* – провести записи віброприскорень конструкцій станції та ґрунту за допомогою ПК «Сейсмомоніторинг» по трьом ортогональним напрямках; на основі обробки одержаних записів визначити максимальні значення віброприскорень, що діють на несучі конструкції станції та ґрунт, переважаючи частоти коливань фундаментів та конструкцій будівлі станції.

Конструктивна схема платформеної частини станції метрополітену – збірний залізобетонний каркас. Просторова жорсткість забезпечується спільною роботою залізобетонних колон, ригелів та збірних залізобетонних плит перекриття.

Фундаменти – збірний залізобетонний ростверк товщиною 350 мм з бетону марки М400 (С25/30), на якому розташовуються залізобетонні фундаменти стаканного типу розмірами 2000×2000×700 мм з бетону марки М300 (С16/20). Колони – збірні залізобетонні з важкого бетону класу М400 (С25/30), перерізом 500×500 мм та висотою 5040 мм. Крок 6 м. Під платформою влаштовано додаткові колони перерізом 200×200 мм та висотою 1660 мм. Крок 4 м. Перекриття – збірні залізобетонні плити 5480×1990 мм, товщиною 600 мм, бетон важкий марки М400 (С25/30). Стіни – зі збірних залізобетонних стінових блоків 6070×4970 мм товщиною 400 мм.

Основою для фундаментної плити станції метрополітену служать на відм. + 85,00 піски сірі та темно-сірі, мілкі та середньої крупності, інколи з прошарками супіску, середньої щільності, дуже вологі, нижче рівня ґрунтових

вод – водонасичені. Характеристики ґрунтової основи під подошвою фундаментної плити є наступні: щільність  $\gamma=1.65 \text{ т/м}^3$ , модуль деформації  $E=30 \text{ МПа}$ .

Перед початком проведення динамічних досліджень конструкцій станції були визначені джерела їх коливань: рух підземного транспорту метрополітену та робота бурового обладнання для влаштування паль  $\varnothing 1000 \text{ мм}$  і довжиною 24 м (бурова установка BAUER BG 36).

Дослідження вібрації конструкцій фундаменту платформи та поверхні ґрунту над станцією метрополітену виконувались у вертикальному і двох горизонтальних напрямках при впливах потягів метрополітену та бурового обладнання (BAUER BG 36) для виконання свердловин в ґрунті для пальового фундаменту торгово-розважального комплексу. На рис. 1 та 2 представлено місця встановлення датчиків прискорень на фундаментній плиті та фундаментах колон та загальний вигляд підземних конструкцій станції метрополітену з датчиками прискорень при виконанні вібродинамічних досліджень. Організація та проведення динамічних обстежень виконані на основі чинних нормативних документів [1–3].

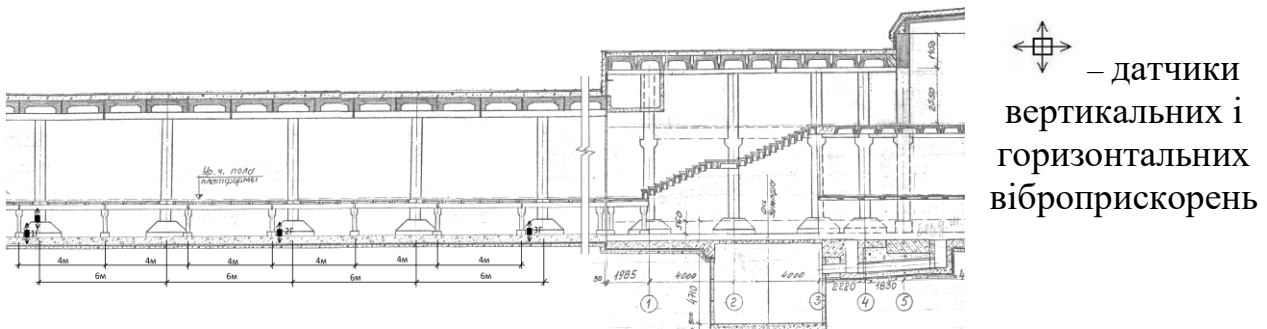


Рис. 1. Місця встановлення датчиків прискорень на несучих конструкціях станції метрополітену

Для визначення динамічних навантажень на фундаменти платформи та колони станції були реалізовані чотири головні схеми встановлення датчиків віброприскорень, призначення яких:

- визначення параметрів коливань поверхні ґрунту, розташованого над станцією метрополітену, при русі потягів метрополітену та роботі бурового обладнання (BAUER BG 36) при бурінні свердловин до глибини 24,0 м;
- визначення параметрів коливань фундаментної плити платформи та фундаментів залізобетонних колон при русі потягів метрополітену та роботі бурового обладнання (BAUER BG 36).



Рис. 2. Розміщення вібродатчиків на фундаментній плиті платформи та фундаментах колон для вимірювання горизонтальних та вертикальних віброприскорень

На основі виконаних вимірювань і результатів обробки сигналів за допомогою програмних засобів [4, 5], отримані записи часових сигналів віброприскорень і їх амплітудні спектри (рис. 3). Спектральний аналіз дозволяє виявити частоти, яким відповідають максимуми спектрів коливань конструкцій при динамічних діях.

Аналіз приведених графіків амплітудних спектрів вертикальних і горизонтальних віброприскорень конструкцій станції показав, що частоти їх переважаючих коливань дорівнюють при впливах потягів метрополітену 20–80 Гц. За результатами обробки тимчасових сигналів прискорень визначені максимальні амплітуди вертикальних і горизонтальних віброприскорень фундаментної плити та фундаментів колон станції і поверхні ґрунту при русі потягів метрополітену та роботі установки BAUER BG 36 (табл. 1 та 2).

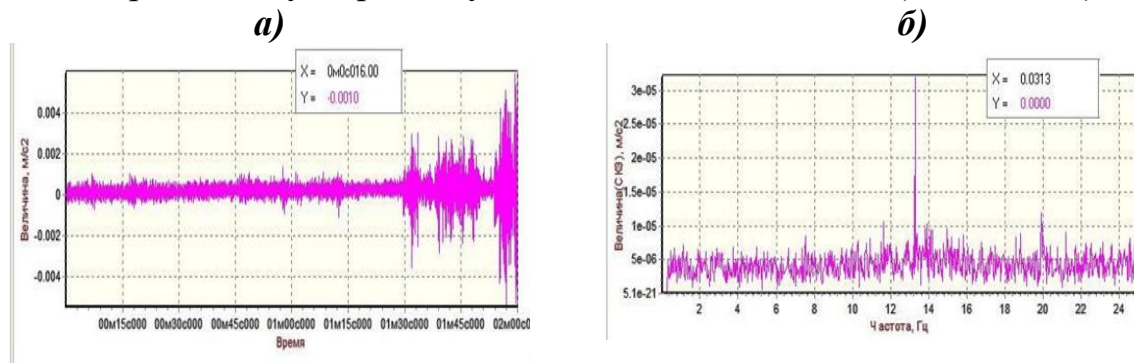


Рис. 3. Сигнал вертикальних віброприскорень (а) та його вузькосмуговий спектр (б) фундаментної плити платформи станції метрополітену при бурінні свердловини Ø1000 мм на глибині 8 м установкою "Bauer BG 36"

Таблиця 1

**Зареєстровані максимальні прискорення станції метрополітену за напрямками X (перпендикулярно колії), Y (вздовж колії метрополітену) і Z (вертикальні) при впливах потягів метрополітену та бурової установки**

| Найменування конструкції | Прискорення конструкції при русі потягів метрополітену, $\text{см/с}^2$ |      |      | Прискорення конструкції при впливах бурової установки, $\text{см/с}^2$ |     |      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|------|------------------------------------------------------------------------|-----|------|
|                          | X                                                                       | Y    | Z    | X                                                                      | Y   | Z    |
| Фундамент платформи      | 40,0                                                                    | 30,0 | 50,0 | 9,0                                                                    | 7,0 | 12,0 |
| Фундаменти колон         | 15,0                                                                    | 12,0 | 17,0 | 7,5                                                                    | 4,4 | 8,0  |

Таблиця 2

**Амплітуди віброприскорень поверхні ґрунту при впливах потягів метрополітену (чисельник) та бурової установки (знаменник)**

| № датчика | Напрямок коливань | Прискорення, $\text{см/с}^2$ |       |       |      |       |
|-----------|-------------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|
|           |                   | № запису                     |       |       |      |       |
|           |                   | 1                            | 2     | 3     | 4    | 5     |
| 1         | X                 | 20/9                         | 18/7  | 19/5  | 17/3 | 16/3  |
| 2         | Y                 | 17/5                         | 15/4  | 16/5  | 15/2 | 16/4  |
| 3         | Z                 | 22/12                        | 21/11 | 20/10 | 19/8 | 21/10 |

**Висновки.** Отримані фактичні дані вібрацій фундаментів платформи та колон станції метрополітену і поверхні ґрунту дозволяють зробити висновок, що динамічні впливи від роботи бурової установки фірми BAUER при влаштуванні паль діаметром 1000 мм та довжиною 24,0 м у 2 рази менше від прискорень при русі потягів метрополітену.

Тому динамічні навантаження від бурової установки не можуть бути причиною додаткових осідань фундаментів станції метрополітену (допустимі значення прискорень фундаментів каркасних промислових будівель дорівнюють  $70 \text{ см/с}^2$  за [2]).

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2–5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. К: Мінрегіонбуд України, 2007.
2. ВСН 490-87. Проектування та влаштування пальових фундаментів та шпунтових огорож в умовах реконструкції промислових підприємств та міської забудови. 1988. 32 с.
3. ДСТУ 12.1.012:2008. Вибраційна безпека. Загальні вимоги. 45 с.
4. Програма обробки вібросигналів „Сейсмомоніторинг”. К. : НТУ «КПІ». 2009.
5. Marienkov, M., Yakovenko, I., Bakulin, Y., Babik, K. (2025). Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025. Vol 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18/](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18/)



УДК 624.012.025

## МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ПОСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГИНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ

**І. А. ЯКОВЕНКО<sup>1</sup>**, д.т.н., професор;

**Є. А. ДМИТРЕНКО<sup>2</sup>**, к.т.н., доцент;

**І. М. МЕЛЬНИЧУК<sup>3</sup>**, аспірант 4-го року навчання

*Національний університет біоресурсів і природокористування*

<sup>1</sup>E-mail: [yakovenko\\_i\\_a@nubip.edu.ua](mailto:yakovenko_i_a@nubip.edu.ua);

<sup>2</sup>E-mail: [dmytrenko\\_yevhen@nubip.edu.ua](mailto:dmytrenko_yevhen@nubip.edu.ua); <sup>3</sup>E-mail: [iv.melnychuk@nubip.edu.ua](mailto:iv.melnychuk@nubip.edu.ua)

Запропонована авторами методика направлена на відновлення захисного шару бетону в околиці розташування існуючого робочого армування та підвищення несучої здатності та жорсткості залізобетонних конструкцій, які працюють на згин.

Цей спосіб посилення може використовуватися у промисловому, агропромисловому, транспортному та цивільному будівництві. Він дозволяє здійснювати посилення у тому числі без попереднього розвантаження існуючої конструкції.

Перевагою способу є проведення посилення без застосування зварювальних робіт та значних вібраційних впливів від ударів електричних інструментів, які сприяють появі, розповсюдженню та розкриттю різних типів тріщин.

Висота нового шару посилення становить від 50 до 120 мм. Цей параметр обумовлений конструктивно необхідністю улаштування захисного шару бетону для подальшої належної експлуатації додаткового арматурного каркасу.

Запропонована висота нового шару посилення дозволяє усунути наявні дефекти захисного шару бетону існуючої конструкції і є оптимальною між співвідношенням збільшення власної ваги конструкції (до 20%) та підвищенням несучої здатності і параметрів жорсткості посиленої конструкції.

Спосіб застосовується для прямокутних, таврових, двотаврових, трапецієподібних типів поперечних перерізів залізобетонних конструкцій, які працюють на згин.

У науково-технічній літературі [1–3 та ін.] розглянуті існуючі способи посилення залізобетонних конструкцій шляхом улаштування додаткових сталевих елементів, залізобетонних «сорочок», створення попереднього напруження тощо. Слід зауважити, що необхідність посилення не завжди викликана збільшенням навантаження на існуючу конструкцію, – це може бути і відновлення захисного шару бетону внаслідок корозії арматури та самого бетону [2], неналежної експлуатації конструкцій та застосування нових об'ємно-планувальних рішень щодо будівель та інженерних споруд під час проведення реконструкції [3].

Існує спосіб посилення залізобетонної балки, яка містить залізобетонний блок та підсилюючий елемент у вигляді металевої стрічки, яка з'єднується з арматурним каркасом балки [4]. У будівельному процесі здійснення посилення конструкції наведеним способом є проблематичним, – наявність спеціальної металевої стрічки та приладів для вимірювання електрохімічного потенціалу. Також описаний спосіб [4] передбачає проведення робіт по відкриттю арматурних поперечних хомутів із подальшим приварюванням до них додаткових кріплень. Це технологічно ускладнює процес посилення та призводить до появи додаткових технологічних тріщин на поверхнях відшарованого бетону і послаблює фізико-механічні властивості арматурних поперечних хомутів.

Відомий спосіб ремонту залізобетонних конструкцій [5] із використанням епоксидних композитів товщиною від 2 до 5 мм, які наносяться на зони дефектів, поверх яких здійснюється нанесення торкрет-бетон товщиною до 40 мм, що дозволяє відновити геометричну форму пошкодженої конструкції. Недоліком такого рішення є низька універсальність застосування епоксидних композитів і направлення розробки лише на усунення існуючих дефектів без підвищення несучої здатності та жорсткості конструкції.

Наведена задача вирішується шляхом улаштування нового шару посилення існуючого залізобетонного перерізу за рахунок введення додаткових поперечних кріплень та розташуванням на них новоутвореного поздовжнього арматурного каркасу, якій включається у сумісну роботу посиленої конструкції без застосування вібро-ударного інструментального відбиття бокового та нижнього захисного шару бетону та проведення зварювальних робіт.

Перед початком проведення робіт проводиться візуальний огляд конструкції, визначаються місця відшарування існуючого захисного шару бетону, поз. 16, рис. 1.

За допомогою інструментів механічно, без використання будь-яких електричних пристроїв, наприклад перфоратору, знімається відшарований захисний шар бетону існуючої залізобетонної балкової конструкції та проводиться очищення поверхні від пилу з подальшою антикорозійною обробкою відкритих арматурних стрижнів та нанесенням шару високоадгезійної ґрунтовки типу «бетонконтакт» на усю площину поверхні задля покращення подальшого зчеплення між «старим» бетоном існуючої конструкції та «новим» бетоном посилення.

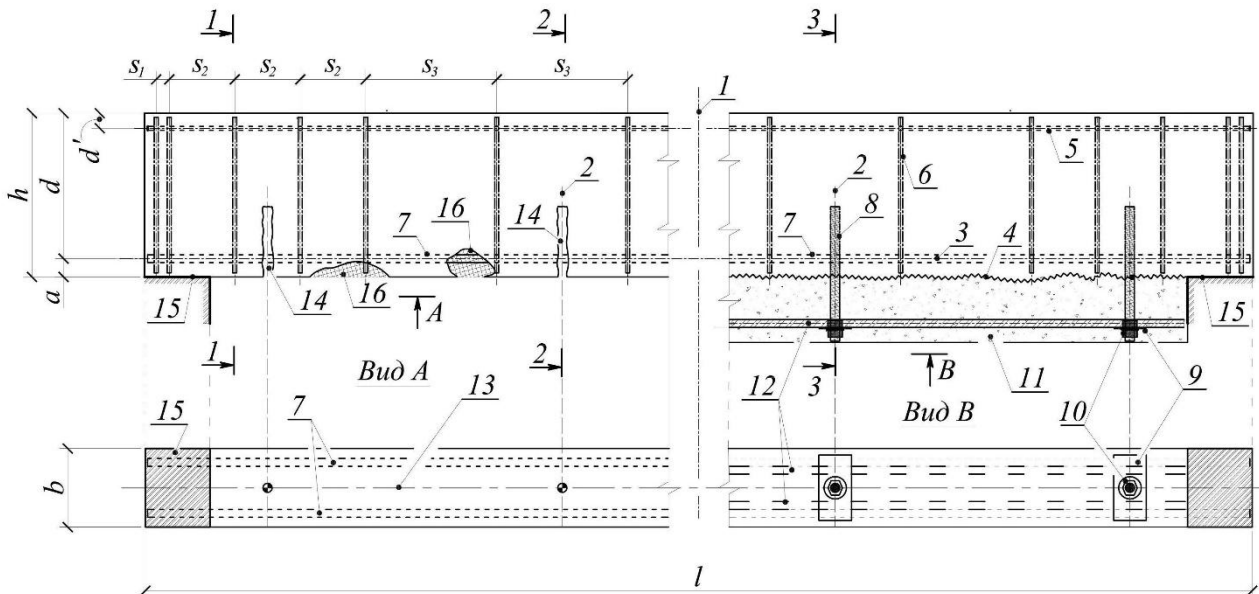


Рис. 1. Посилену залізобетонна конструкція у розглянутій зоні

З використанням детектору (наприклад Bosch D-tect 120 Pro), призначеного для пошуку металів на нижній грані залізобетонної конструкції визначаються вісі розташування стрижнів робочої повздовжньої арматури (поз. 3, рис. 1), відстань між ними та виконується орієнтовна розмітка бетонної поверхні нижньої грані (поз. 13, рис. 1).

Аналогічна процедура виконується на бокових поверхнях залізобетонної конструкції задля отримання повної інформації щодо місць розташування поперечних арматурних хомутив.

На нижній грані конструкції намічаються центри майбутніх отворів із урахуванням центральних ліній перетину: за допомогою будівельного маркеру або олівця наноситься лінія, рівновіддалена від центрів стрижнів робочого повздовжнього армування (поз. 13, 14, рис. 1).

Фактична довжина залізобетонної конструкції без урахування опорних ділянок та відступів, довжиною, рівною не більше висоти перерізу з кожної сторони умовно поділяється на приблизно рівні частини (від 0,8 до 1,5 м). Далі перпендикулярно до нижньої грані конструкції на боковій поверхні рівновіддалено від існуючих центрів поперечних хомутив проводяться вертикальні лінії (поз. 2, рис. 1), висотою 150–200 мм і опускаються та продовжуються на нижній поверхні.

Місця перетину цих ліній із центральною лінією перетину нижньої грані і є центрами майбутніх отворів.

Після визначення центрів перетину розглянутих ліній, виконуються отвори (поз. 14, рис. 1) перфоратором у режимі свердління з ударом на глибину до 150 мм, діаметром 10–14 мм під прямим кутом до нижньої поверхні грані балки. Далі отвори очищуються від пилу та залишків бетону після свердління, наприклад за допомогою будівельного пилосмоку або подачею стиснутого повітря з компресору.

У новоутворені отвори вводяться шпильки з різьбою (поз. 8, рис. 1, 2), які попередньо змащуються високоадгезійною ґрунтовкою або цементно-піщаним розчином. Ці шпильки забиваються на усю глибину отвору та у подальшому жорстко фіксуються у конструкції за рахунок забезпечення зчеплення між різьбовим з'єднанням, ґрунтовкою або цементно-піщаним розчином та внутрішньою поверхнею бетонного отвору.

Далі на шпильки одягаються підготовлені універсальні монтажні пластини (поз. 9, рис. 1, 2), які містять спеціальні отвори для кріплення, довжиною меншою за ширину поперечного перерізу нижньої грані існуючої конструкції, товщиною 2 мм, шириною від 50 мм. Ці пластини фіксуються за допомогою верхньої та нижньої гайки М10–М14 з шайбами (поз. 10, рис. 1, 2) у залежності від діаметру шпильок.

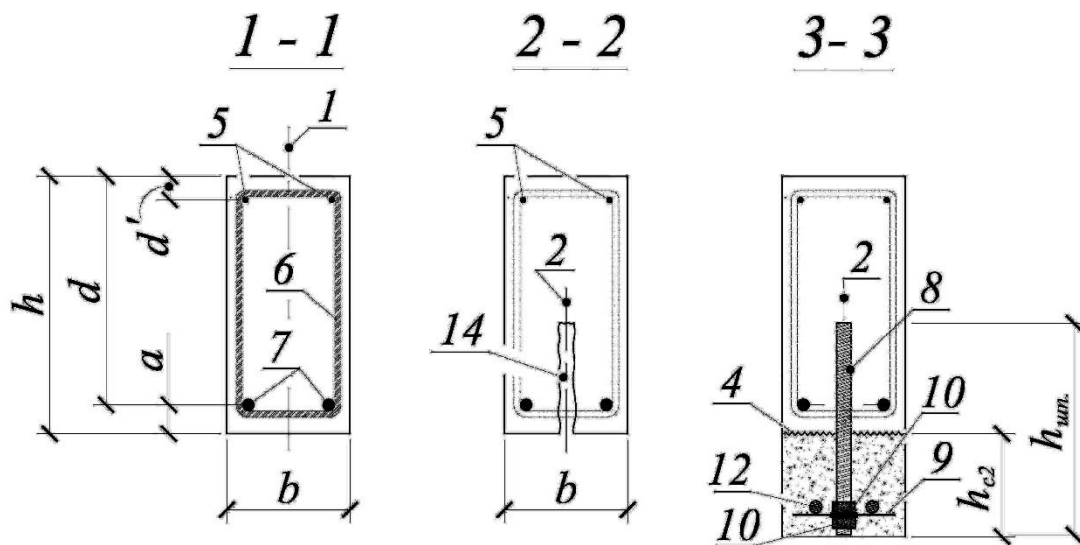


Рис. 2. Поперечні перерізи посиленої залізобетонної конструкції, зображеної на рис. 1.

На рис. 1 та 2 зображено посилену залізобетонну конструкцію у розглянутій зоні та введені наступні **позначення**:

1 – вертикальна вісь симетрії; 2 – вісь отвору; 3 – вісь поздовжньої робочої арматури існуючої залізобетонної конструкції; 4 – шов між різними бетонами (між «старим» бетоном існуючої конструкції та «новим» бетоном посилення); 5 – конструктивне поздовжнє армування у стиснутій зоні конструкції; 6 – поперечні арматурні хомути; 7 – поздовжнє робоче армування існуючої залізобетонної конструкції у розтягнутій зоні; 8 – сталева шпилька з різьбою, попередньо змащена високоадгезійною ґрунтовкою; 9 – універсальні монтажні пластини; 10 – гайка з шайбою, яка має діаметр отвору такий же як і діаметр шпильки 8; 11 – дрібнозернистий бетон посилення; 12 – додаткове поздовжнє армування посиленої частини перерізу; 13 – центральна вісь, яка проходить між стрижнями існуючих робочих арматурних стержнів каркасу; 14 – отвір, зроблений за допомогою перфоратору у режимі свердління з ударом для подальшого введення шпильки 8; 15 – місця спирання залізобетонної

конструкції (опори); 16 – відшарування нижнього та/або бокового захисного шару бетону існуючої залізобетонної конструкції.

Такий механізм дозволяє регулювати відстань розташування нового поздовжнього арматурного каркасу від існуючої нижньої поверхні залізобетонної конструкції за висотою шару посилення.

Додаткове поздовжнє армування нового шару посилення (поз. 12, рис. 1, 2) укладається на монтажні пластини, фіксується до них сталюю проволокою.

Далі встановлюється опалубка, яка підпирається по усій нижній грані за допомогою стійок та спеціальних П-подібних кріплень у верхній частині існуючої конструкції. Опалубка містить спеціальні отвори, розміщені у різних рівнях за висотою, які закриваються спеціальними пластиковими фіксаторами. Через ці отвори подається бетонна суміш сильнорухливої пластичності РЗ із важкого дрібнозернистого бетону, фракцією заповнювача 5–10 мм. Слід зазначити, що клас бетону посилення має бути вищим за клас бетону існуючої конструкції задля ефективного підвищення несучої здатності та жорсткості усієї конструкції. Після заповнення новоутвореного об'єму у середині опалубки проводиться вібрування бетонної суміші задля її ущільнення, подальше додавання бетонної суміші та закриття отворів фіксаторами. Застигання бетону і включення нового залізобетонного шару посилення у роботу  $\approx$  на 80% відбувається протягом перших 7–14 днів за нормального температурно-вологісного режиму. Після проходження цього періоду можна знімати опалубку і експлуатувати посилену конструкцію.

**Висновки.** Розроблена технологічно проста, економічно доцільна та практично здійсненна у складних виробничих умовах методика здійснення посилення розтягнутої зони залізобетонних конструкцій, які зазнають дії згинального моменту та мають дефекти, пошкодження у вигляді відшарування захисного шару бетону в околиці робочого поздовжнього армування.

### Список використаних джерел

1. Голишев О.Б., Кривошеєв П.І., Козелецький П.М. та ін. Розрахунок і технічні рішення посилення залізобетонних конструкцій виробничих будівель та просадкових основ; під ред. О.Б. Голишева. К. : Логос, 2008. 304 с. (рос. мовою)
2. Бабич Є.М., Караван В.В., Бабич В.Є. Діагностика, паспортизація та відновлення будівель і інженерних споруд : підручник. Рівне : «Волинські береги», 2018. 176 с.
3. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд : навч. посіб. К., 2004. 304 с.
4. Пат. 98481 Україна, МПК (2015.01) E04B 1/00 E04C 5/00. Підсилена залізобетонна балка / Бондар В.О., Степова О.В.; заявл. 01.12.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8/2025.
5. Пат. 26095 Україна, МПК (2006) E04G 23/00. Спосіб ремонту будівельних конструкцій / Шаршунов А.Б., Дехтяр О.О., Ляшенко Т.В., Гара



А.О., Пукас М.Д., Олійник С.П.; заявл. 31.05.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16/2007.

6. Яковенко І. А., Бакулін Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К.: НАУ, 2013. 50с.

**УДК 614.841**

## **ТЕХНОЛОГІЇ ВОГНЕЗАХИСТУ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ НА БАЗІ СИСТЕМ АММОКОТЕ**

**В. М. БАКУЛІНА<sup>1</sup>**, ст. викладач;

**Є. І. КОЗЛІВСЬКИЙ**, студент 3 курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua)

Сучасна архітектура та будівельна інженерія характеризуються безпрецедентним зростанням насиченості будівель інженерними мережами [5]. Системи життєзабезпечення — від вентиляції та кондиціонування до складних електричних магістралей та гідравлічних контурів — пронизують будівлі, створюючи "кровоносну систему" об'єкта. Однак, з точки зору пожежної безпеки, ця насиченість створює фундаментальний конфлікт з принципом секціонування (compartmentation).

Огороджувальні конструкції, покликані локалізувати пожежу в межах одного відсіку, неминуче перфоруються десятками та сотнями каналів, лотків та трубопроводів [1, 2]. Кожен такий прохід, без належного вогнезахисту, стає "швидкісною магістраллю" для поширення вогню, диму та токсичних продуктів піролізу, зводячи нанівець вогнестійкість капітальних стін та перекриттів.

Інноваційні вітчизняні розробки, що базуються на глибокому розумінні нормативної бази (участь у ТК25 та ТК304) [3], відповідають викликам сучасної будівельної галузі [1, 2].

Системотехніка конструктивного вогнезахисту проходок. Ключовою проблемою захисту місць перетину огороджувальних конструкцій є різномірність матеріалів. В одному отворі можуть сходитися бетон (стіна), сталь (лоток), мідь (кабель), пластик (ізоляція або труба) та повітря. Кожен з цих елементів має різний коефіцієнт термічного розширення, теплопровідність та температуру плавлення. Спроба "заліпити" такий вузол звичайним цементним розчином приречена на поразку: при нагріванні металевий лоток розшириться і зруйнує крихкий цемент, утворивши наскрізні щілини для диму.

Відповіддю на цю мультифізичну проблему стала розробка спеціалізованих збірних систем конструктивного вогнезахисту — Ammokote

SCS (System of Constructive Sealing). У документації виділяються дві основні модифікації: **Ammokote SCS-K** та **Ammokote SCS-B** [3].

Система **Ammokote SCS-K** позиціонується як універсальне рішення для відновлення класу вогнестійкості огорожувальних конструкцій у місцях проходу:

- кабелів та кабельних пучків;
- металевих лотків та коробів;
- шинопроводів;
- повітропроводів;
- трубопроводів різного перерізу.

Таблиця 1

### Специфіка герметизації деформаційних швів

| Характеристика системи SCS-K | Значення/Опис                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| клас вогнестійкості          | EI 180 (до 3 годин) <sup>8</sup>                           |
| основний наповнювач          | плита Ammokote SW <sup>6</sup>                             |
| зв'язуюча речовина           | термостійкий клей Ammokote KC <sup>9</sup>                 |
| призначення                  | герметизація змішаних проходок (кабелі, труби, лотки)      |
| механізм дії                 | комбінований: теплоізоляція + терморозширення ущільнювачів |

Головна мета системи — забезпечити герметичність (критерій E) та теплоізолюючу здатність (критерій I) вузла на рівні **EI 180** (180 хвилин) [3]. Це означає, що протягом трьох годин інтенсивної пожежі температура на необігріваній поверхні проходки не перевищить критичних значень, а полум'я та дим не проникнуть у суміжне приміщення.

Окремим класом інженерних "проходок" є деформаційні шви будівлі (температурні, усадкові, антисейсмічні) [1]. Вони не містять комунікацій, але є наскрізними розрізами конструкції, які необхідно захистити. Для цього застосовується **Ammokote SE** — спеціалізована вогнезахисна стрічка [3].

Оскільки багато вогнезахисних матеріалів є пористими та гігроскопічними, їх необхідно захищати від вологи та агресивних середовищ. Для цього, а також для надання естетичного вигляду, застосовується система **Ammokote TOP** або аналогічні декоративно-захисні фарби. Це продовжує термін ефективної експлуатації системи до 25-30 років.

Таблиця 2

## Застосування продуктів Ammokote

| Об'єкт захисту          | Рекомендований продукт/система | Максимальна вогнестійкість | Ключова особливість                        |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| кабелі та пучки         | Ammokote MF-180 2              | EI 180                     | Не знижує струмове навантаження, еластична |
| полімерні труби         | Ammokote FC-180 18             | EI 180                     | "Ефект гільйотини", роз'ємний корпус       |
| змішані проходки        | Система Ammokote SCS-K 3       | EI 180                     | Універсальність, ремонтпридатність         |
| сталеві повітро-проводи | Ammokote DS-180 20             | EI 180                     | Легка вага, армування волокнами            |
| самонесучі коробки      | Ammokote FB-300 19             | EI 180 (R 300)             | Не потребує металевого каркасу каналу      |
| деформаційні шви        | Ammokote SE 10                 | EI 180                     | Висока еластичність при експлуатації       |
| підготовка поверхні     | Ammokote Quartz 22             | —                          | Створення адгезійного мосту                |
| склеювання елементів    | Ammokote KC 7                  | —                          | Термостійкість до 1400°C                   |

Використання вітчизняних систем Ammokote надає значні переваги порівняно з імпортними аналогами (Hilti, Promat).

1. **Локалізація:** Повний цикл виробництва в Україні [4] мінімізує валютні ризики та затримки постачання.

2. **Вартість:** Продукти позиціонуються як "чесний вогнезахист за справедливою ціною", пропонуючи конкурентну вартість за одиницю вогнестійкості.

3. **Адаптивність:** Наявність широкої лінійки (від фарб до плит) дозволяє підібрати оптимальне рішення для конкретного об'єкта, комбінуючи матеріали в рамках однієї сертифікованої екосистеми.

**Висновок.** Аналіз технічної документації та характеристик продукції Kovlar Group дозволяє стверджувати, що лінійка Ammokote представляє собою зрілу, комплексну екосистему вогнезахисту. Вона покриває всі критичні аспекти захисту інженерних комунікацій: від запобігання поширенню горіння по кабелях до герметизації найскладніших проходок. Використання інноваційних принципів (інтумесценція, абляція, термостійкі клеї) у поєднанні

з глибоким розумінням нормативної бази робить ці системи надійним бар'єром на шляху вогню, забезпечуючи безпеку людей та збереження майна на десятиліття. Важливо підкреслити, що досягнення заявлених характеристик можливе лише при суворому дотриманні технологічних регламентів монтажу, включаючи підготовку поверхонь та контроль кліматичних умов нанесення.

### Список використаних джерел

1. Бакулін Є.А., Першаков В.М., Беятинський А.О. Проблеми протидії пожежної небезпеки та вогнестійкість висотних будівель. Частина 2: Причини та наслідки руйнування висотних будівель від дії вогню : монографія. К.: НАУ, 2017. 261 с.
2. Бакулін Є.А., Першаков В.М., Беятинський А.О., Бакуліна В.М. Проблеми протидії пожежної небезпеки та вогнестійкість висотних будівель. Частина 1 : Досвід проектування, будівництва та експлуатації : монографія. К. : НАУ, 2016. 103с.
3. URL: <https://ammokote.com/>
4. URL: <https://budmarket24.com.ua/>
5. Яковенко І. А., Бакулін Є. А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України. Зб. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання». К. : НУБіП України, 2023. С. 488–491.

УДК 690:24.001.5

## ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ПІДКРАНОВИХ БАЛОК В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Н. О. КОСТИРА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

О. В. БРАНІЦЬКА<sup>2</sup>, студентка 3-го курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [kostyra\\_n\\_o@nubip.edu.ua](mailto:kostyra_n_o@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [branitska.olha@gmail.com](mailto:branitska.olha@gmail.com)

Надійність експлуатації підкранових конструкцій та опорних елементів є критичним фактором безпеки будь-якого промислового об'єкта.

Під час тривалої роботи під впливом динамічних навантажень, вібрацій та корозії в сталевих балках і колонах неминуче виникають дефекти: тріщини у зварних швах, погнутості стінок, послаблення заклепок, болтів або деформація поясів.

У серйозних випадках пошкоджень підкранових балок для полегшення умов ремонту їх слід знімати з опор і ремонтувати на стелажах.

Погнуті місця стінок балок зміцнюються ребрами жорсткості або дерев'яними накладками (рис. 1). Ребра жорсткості припасовуються за вигином стінки балки. У разі неможливості пригання металевго ребра жорсткості по всій довжині, можна допустити як виняток часткову підгонку, але не менше ніж на  $1/3$  висоти стінки балки.

Дерев'яні накладки щільно вганяються між поясами балки і стягуються болтами, які проходять через отвори, просвердлені в стінці балки. Відстань між осями ребер жорсткості чи дерев'яних вкладок не повинна перевищувати висоту половини балки.

Тріщини по всій висоті стінки перекриваються накладками з однієї сторони стінки. Накладки можуть бути поставлені на зварюванні або болтових з'єднаннях.

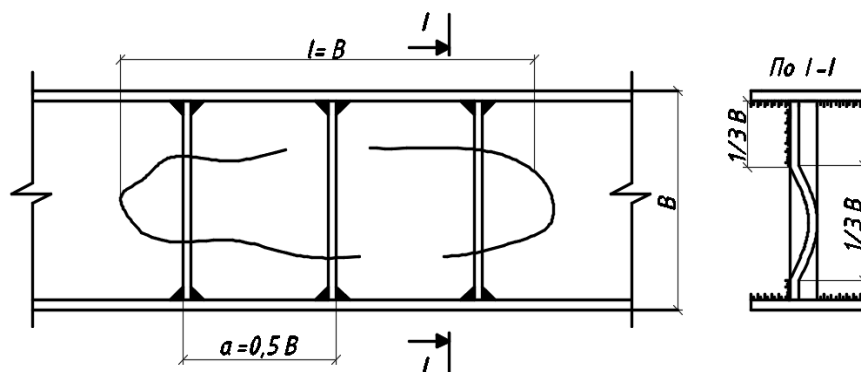


Рис. 1. Підсилення викривленої стінки підкранових балок ребрами жорсткості

Товщина накладок береться рівною товщині стінки балки. Висота зварного шва приймається рівною товщині накладки. Болти ставляться у два ряди з кожного боку тріщини.

У разі одночасної погнутості та тріщини розміри накладок повинні бути достатніми для повного перекриття пошкодженого місця стінки. Якщо неможливо накласти на місце пошкодження, слід перекрити тріщину кількома окремими ромбічними накладками, пригнаними по вигнутості і зміцнити стінку ребрами жорсткості або вирізати вигнутість і перекрити місце вирізу накладкою.

Дрібні пробоїни в стінці балки, розташовані нижче середини в розтягнутій зоні, якщо вони не перевищують по висоті  $0,2B$  та  $0,5B$  за довжиною (де  $B$  — висота балки), виправляються шляхом засвердлювання їхніх гострих кутів; постановка накладок при цьому не обов'язкова. Усіх інших випадках пробоїни виправляються накладками, так як і тріщини. Погнуті краї стінок вирізають, а гострі, вхідні кути засвердлюються.

Вигнутість країв звису нижнього поясу може бути допущена, якщо сталь в місці вигнутості або біля нього не має жодних надривів або тріщин. Вигнутість країв звису верхнього поясу може бути залишена без виправлення



тільки в тому випадку, якщо вона поширюється не більше ніж на половину ширини звису і в сталі немає тріщин.

При більшій вигнутості звис слід виправити. Якщо виправити вигнутість неможливо або при виправленні в сталі з'явилися тріщини, необхідно перекрити пошкоджене місце накладкою. Надриви, тріщини та виколи в металі поясів перекриваються накладками. Не щільно прилягаючі болти (що тремтять при обстукуванні молотком – вагою 0,5 кг) повинні бути видалені і замінені новими каліброваними болтами. Всі болти повинні бути контрольовано затягнуті і мати контргайки.

При масовому розладі болтів або заклепок поясних кутиків допускається болти або заклепки не міняти, а робити додаткові зварні шви, що посилюють кріплення полиць кутиків до поясу і стінки балки (рис. 2).

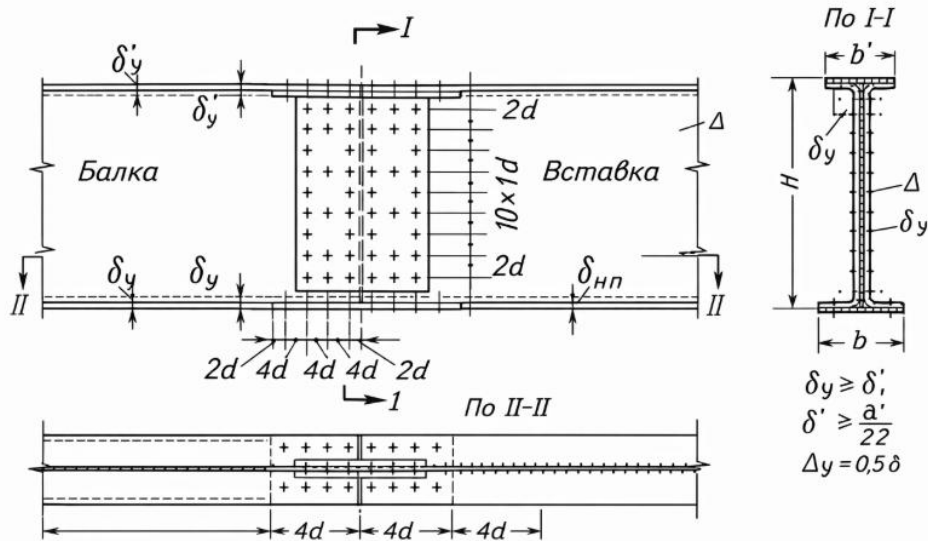


Рис. 2. Монтажний стик підкранової баки на болтах або заклепках

При цьому посилення прикріплення поясних кутиків верхнього поясу проводиться суцільними швами, а кріплення поясних кутиків нижнього поясу – переривчастими швами. Відстань між центрами шпонок (ділянок зварювання) дорівнює подвійній довжині шпонки (довжина шпонки приймається  $10H$ ).

Всі зварні шви, які мають тріщини, повинні бути видалені і замінені новими. У випадку значної складності видалення пошкодженого шва можна, не зрубуючи шов, дати посилення за допомогою накладок, приварених під кутом  $45^\circ$  між поясом і стінкою. Планка посилення повинна заходити за кінці тріщини не менше ніж на ширину планки.

Зсув підкранової рейки допускається на величину не більше 0,25 від ширини верхнього поясу. При цьому верхній пояс зміцнюється додатковими ребрами жорсткості. Зміщення підкранової рейки можна зменшити, переміщаючи балку в опорах.

Загальне викривлення нижнього поясу в межах 0,25 його ширини допустимо. При викривленні не більше 0,5 його ширини пояс можна не

випрямляти, а зміцнити горизонтальною фермою жорсткості. При більших викривленнях пояс слід випрямити.

У разі, коли підкранова балка має викривлення у вертикальній площині, що не перевищує  $1/400 L$  (наприклад, при пошкодженні балки частинами будівлі, які обвалилися) і при цьому немає особливих пошкоджень сталі, можна продовжити експлуатацію балки, зробивши необхідні виправлення окремих пошкоджень. Вирівнювання підкранових шляхів здійснюється підкладками, що підводяться під рейку.

При викривленнях підкранових балок у вертикальній площині більш ніж на  $1/400 L$ , але за відсутності будь-яких видимих пошкоджень дозволяється залишати підкранову балку без виправлень, якщо викривлення не заважає експлуатації. Виявлення при такому викривленні хоча б незначних пошкоджень металу викликає необхідність вирізати пошкоджені частини балок в місцях найбільших вигинів, а потім після випрямлення осі балки проводити стикування окремих частин.

Розрахунок заклепок, болтів і зварних швів виконується по площі відновлювальних елементів.

У тому випадку, коли немає необхідної для вставки сталі, застосовується другий спосіб, що дозволяє (завдяки зменшенню прогону вставки в порівнянні з прогоном балки) виконати вставку навіть при середній вантажопідйомності крана з обрізків рейок або дерева.

У разі значних пошкоджень балки на всьому прогоні, які не піддаються виправленню, балку можна повністю відновити в дереві.

### **Список використаних джерел**

1. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., Kostyra N.O. Volume-Spatial Decisions of Buildings and Structures : ed. man. Kyiv : NULES of Ukraine, 2025. 262 p.
2. Білик С.І., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції. Том 2. Конструкції металевих каркасів промислових будівель: підр. для ВНЗ. Кам'янець-Подільський: Рута, 2021. 448 с.
3. Плоский В.О., Гетун Г.В. Архітектура будівель і споруд. Книга 4. Технічна експлуатація та реконструкція будівель: підручник-довідник. Кам'янець-подільський : Рута, 2018. 750 с.
4. ДБН В.2.6-198-2014. Сталеві конструкції Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. Зміна №1 Чинна з 2022-09-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 190 с.
5. Костира Н.О., Бакуліна В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Металеві конструкції» для студентів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Київ, Видавничий центр НУБіП України, 2021. 65с.

УДК 624.042.7

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ СЕЙСМОЗАХИСТУ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГУМОВИХ ОПОР

М. Г. МАР'ЄНКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с.;І. В. ЖЕМЕЛІНСЬКИЙ<sup>2</sup>, аспірант 2-го року навчання;

О. М. КАРПЕНКО, студент 2-го курсу магістратури

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*<sup>1</sup>E-mail: [m.maryenkov@nubip.edu.ua](mailto:m.maryenkov@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [smc.illya@gmail.com](mailto:smc.illya@gmail.com)

В останні роки все більше число сейсмоізованих будівель, мостів та інших споруд зводяться згідно рекомендацій нормативних актів в різних країнах на різних континентах [1–8]. Найбільше застосування сейсмоізоляція отримала в Японії, Китаї, США, Канаді, Новій Зеландії та Італії [3, 4] (рис. 1). Широке поширення при реконструкції і зведенні нових будівель отримали системи сейсмоізоляції на основі гумових та гумометалевих сейсмовіброізоляційних блоків (СВБ).

В Україні цей напрям також розвивається - в останні 10 років виконана експериментальна перевірка систем вібросейсмоізоляції на натурних фрагментах будівель, побудовано та експлуатуються 16 житлових будинків висотою від 6 до 27 поверхів в містах Київ та Львів.

Number of seismic isolation buildings around the world

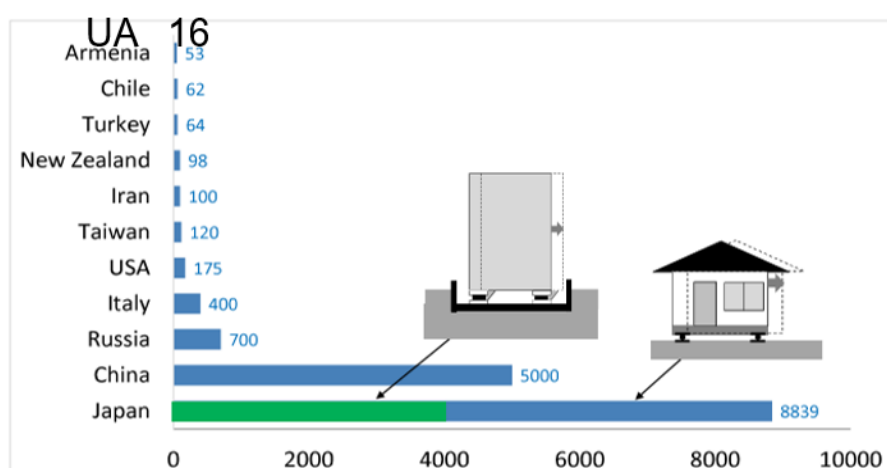


Рис. 1. Кількість побудованих багатоповерхових та одноповерхових будинків з системами сейсмоізоляції в різних країнах (в Україні 16 житлових будинків)

Основна відмінність між деформацією конструкцій неізованої і сейсмоізованої будівлі із застосуванням СВБ полягає в істотній різниці відносних горизонтальних переміщень міжповерхових перекриттів (перекосів поверхів) під час землетрусу. Внаслідок більш високої горизонтальної жорсткості поверхів верхньої будови будівлі в порівнянні з горизонтальною жорсткістю сейсмовіброізолюючих блоків, відносні горизонтальні переміщення

перекриттів поверхів, розташованих вище сейсмоблоків системи сейсмоброізоляції, істотно нижче в порівнянні з переміщеннями поверхів будівлі без сейсмоізоляції.

Нижче приведена методика розрахунку параметрів системи сейсмосахисту з використанням гумових високонапружених ізоляторів, які розроблено, запатентовано та виготовляються в Україні на основі натурального каучуку [2, 3, 4]. При розрахунках використана дослідна залежність «вертикальне статичне навантаження – переміщення» гумового ізолятора (рис. 2 та 3).



Рис. 2. Зразок гумової віброізолюючої опори СВБ-500/50

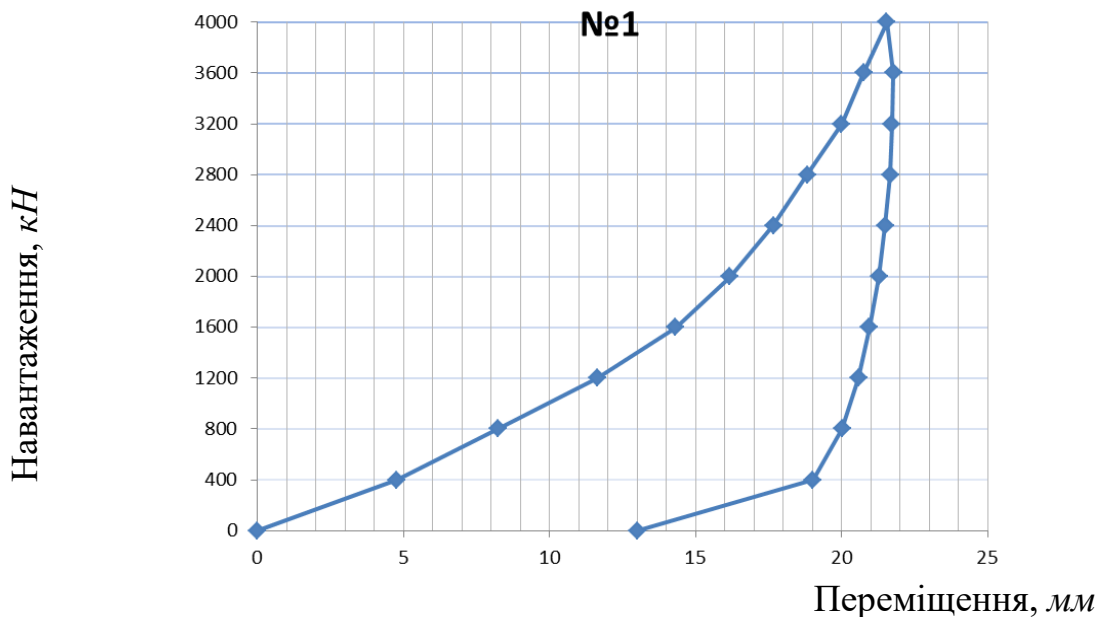


Рис. 3. Дослідна залежність «вертикальне статичне навантаження – переміщення» гумової опори СВБ-500/50 при випробуваннях на пресі на стиск до 4000 кН (випробування виконано у ДП НДІБК, м. Київ)

Маса житлового великопанельного 5 поверхового (висотою 15 м) будинку  $m=4500$  тс (постійна вага  $G=45000$  кН). Розрахункову сейсмічність будівельного майданчика для Закарпатської області згідно ДБН В.1.1-12:2014 [5] приймаємо 7 балів. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями перша.

Необхідно було виконати розрахунок горизонтальної та вертикальної жорсткості сейсмоопор системи сейсмоізоляції будинку та порівняти з даними випробувань. Таке порівняння є основою висновку щодо можливості використання одношарових гумових сейсмоопор для сейсмосахисту 5 поверхового житлового будинку від землетрусів інтенсивністю 7 балів.

Період власних горизонтальних коливань за першою формою  $T_1$  великопанельного будинку без сейсмоізоляції висотою  $H=15$  м згідно емпіричної залежності, рекомендованої ДБН В.1.1-12:2014:  $T_1 = 0,033H^{0,81}$ .  $T_1 = 0,3$  с. Цьому значенню періода відповідає коефіцієнт динамічності  $\beta = 2,5$  (рис. 6.2, ДБН В.1.1-12:2014 [1]).

Для зниження горизонтальних сейсмічних навантажень на конструкції будинку не менше ніж у 1,5 рази період власних горизонтальних коливань маси будинку на сейсмоопорах приймаємо  $T_z = 0,8$  с (кутова частота  $p_z = 2\pi/T_z = 7,9$  рад/с;  $p_z^2 = 61,6$  рад/с<sup>2</sup>). Цьому значенню періода відповідає коефіцієнт динамічності (рис. 6.2 ДБН В.1.1-12:2014):  $\beta = 1,5$ .

Сейсмічні навантаження прямо пропорційні коефіцієнту динамічності, тому зниження горизонтальних сейсмічних навантажень на сейсмоізолюваний будинок досягає:  $k = 2,5/1,5 = 1,7$  рази.

Горизонтальне прискорення ґрунту при 7 балах:  $ah = 1,0 \frac{m}{c^2}$ .

Сейсмічне горизонтальне навантаження на будівлю при 7 балах:

$$Sh = m \cdot ah \cdot \beta = 4500 \times 1,0 \times 1,5 = 6750 \text{ кН}.$$

Сейсмічне горизонтальне навантаження на одну сейсмоопору:

$$Sh_1 = \frac{Sh}{N_b} = 48,2 \text{ кН}.$$

Згідно вимог Європейських норм з сейсмостійкого будівництва (EN-1998-1 [6]) та ДБН В.1.1-12:2014 [1] період власних вертикальних коливань будинку на сейсмоопорах  $T_g$  повинен бути не більше 0,1 с (частота  $f_g = 10,0$  Гц, кутова частота  $p_g = 2\pi f_g = 63,0$  рад/с). Приймаємо  $T_g = 0,1$  с. Ця вимога прийнята у нормативних документах з метою зменшення кутових коливань будівель на сейсмоопорах в вертикальній площині.

Приймаємо одношарову гумову сейсмоопору висотою 50 мм та діаметром шару гуми 500 мм, загальний вид якої приведено на рис. 2.

За результатами випробувань отримано такі значення параметрів сейсмоопори (рис. 3):

1. Динамічний модуль пружності гуми за результатами випробувань циліндричних зразків гуми марки 2959:  $E_{0d} = 7,0$  МПа. Динамічний модуль зсуву гуми  $G_d = E_{0d}/3 = 2,3$  МПа. Площа гумового шару  $\Phi 500$  мм:  $A = 0,2$  м<sup>2</sup>.

2. Допустиме напруження при стиску шару гуми  $\sigma = 15$  МПа (рекомендується фірмами, які виготовляють гумові та гумометалеві опори).

Допустиме вертикальне постійне (статичне) навантаження на один гумовий ізолятор:  $[P_v] = \sigma \times A = 15000 \text{ кПа} \times 0,2 \text{ м}^2 = 3000 \text{ кН}$ .



Мінімальна кількість сейсмоопор:  $N_b = G/[P_v] = 45000 \text{ кН} / 3000 \text{ кН} = 15$ . Сумарне (статичне та сейсмічне) навантаження на одну опору може перевищувати у 1,5–2,0 рази вертикальне постійне (статичне) навантаження. Це значення уточнюється за результатами розрахунку просторової динамічної моделі будинку на сейсмоопорах. Тому попередньо приймаємо кількість сейсмоопор  $N_b = 30$ . Вертикальне постійне (статичне) навантаження на один гумовий ізолятор:  $P_v = 45000 \text{ кН} / 30 = 1500 \text{ кН}$ .

Згідно графіку на рис. 3 при навантаженнях від 2000 кН до 2900 кН вертикальна деформація опори збільшилась на 3 мм. Експериментальне значення вертикальної жорсткості опори на цієї ділянці  $K_e = 900 \text{ кН} / 3 \text{ мм} = 300 \text{ кН/мм}$ .

3. Розрахункове значення горизонтальної жорсткості однієї опори обчислюємо за формулою:

$$K_{h1} = \frac{Gd \cdot A}{h} = 9200 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Квадрат власної кутової горизонтальної частоти коливань будинку на сейсмоопорах (жорсткість усіх 30 сейсмоопор:  $K_h = N_b K_{h1} = 30 \times 9200 = 276000 \text{ кН/м}$ ) розраховуємо за формулою:

$$\omega^2 = \frac{K_h}{m} = 276000 / 4500 = 61,3 \text{ рад}^2 / \text{с}^2$$

Кутова частота горизонтальних коливань будинку:  $\omega = 7,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

Період горизонтальних коливань будинку:  $T_h = 2\pi / \omega = 6,28 / 7,8 = 0,8 \text{ с}$ .

4. Згідно даних динамічних випробувань гумової одношарової опори висотою 50 мм без свінцевого сердечника отримано дослідне значення логарифмічного декременту  $\delta = 0,3$ .

5. Визначаємо вертикальну жорсткість 30 сейсмоопор и однієї опори при прийнятому періоді  $T_e$  вертикальних коливань будинку на сейсмоопорах (згідно рекомендацій Єврокода-8 [2] період приймається не більше 0,1 с).

$$T_e = 0,1 \text{ с (частота } f_e = 1 / T_e = 10,0 \text{ Гц)}$$

Кутова частота  $p_e = 2\pi f_e = 63,0 \text{ рад/с}$ ,  $p_e^2 = 3969 \text{ рад}^2/\text{с}^2$ .

Необхідна вертикальна жорсткість 30 сейсмоопор  $K_z$ :

$$K_z = p_e^2 m = 3969 \times 4500 = 17860500 \text{ кН/м}.$$

Жорсткість однієї опори:  $K_z^1 = K_z / 30 = 595350 \text{ кН/м} = 595 \text{ кН/мм}$ .

Вертикальна експериментальна жорсткість опори ( $K_e = 300 \text{ кН/мм}$ ) у 2 рази менше необхідної ( $K_z^1 = 595 \text{ кН/мм}$ ).

Тому треба перевірити відносну різницю вертикальних деформацій  $Z$  будинку на сейсмоопорах, яка не повинна перевищувати допустиме значення  $[z] = 0,0016$  згідно вимог чинних ДБН «Проектування у складних інженерно-геологічних умовах».

При мінімальному значенні короткої сторони будинку  $L = 12 \text{ м}$  та осіданні крайнього ряду сейсмоопор до  $Z = 20 \text{ мм}$  при максимальному вертикальному навантаженні  $P_{vmax} = 2P_v = 3000 \text{ кН}$  (рис. 3) відносна різниця вертикальних

деформацій  $\Delta = Z/L = 20\text{мм}/12000\text{мм} = 0,00163$ , що фактично дорівнює допустимому значенню  $[\Delta] = 0,0016$ .

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні дії, правила щодо споруд (EN 1998-1:2004, IDT).
3. Masaru Kikuchi, Nobuyuki Ogino (2018) Seismic Isolation Devices. Principle and application of SI devices, introduction of examples, International seminar “Technologies of earthquake-resistant construction” Sep 17-19 2018, Almaty, Kazakhstan.
4. Keita Sakakibara. Structural design for seismic isolation, International seminar “Technologies of earthquake-resistant construction”, February 8-9, 2021, Bichkek, Kirgistan.
5. Melkumyan M. G. Base Isolation Retrofitting Design for the Existing 9-Story Large-Panel Apartment Building. – International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). 2020. Vol. 4. Iss. 4.
6. Kelly J. M. Base Isolation: Linear Theory and Design. Berkeley. 1990.
7. Булат А.Ф., Дирда В.І., Лисиця Н.І., Мар’єнков М.Г. та ін. Експериментальні дослідження характеристик сейсмозахисних опор. Геотехнічна механіка. 2015. Вип. 121.
8. Фаренюк Г.Г., Немчинов Ю.І., Мар’єнков М.Г., Бабік К. М., Лисиця М.І. та ін. (2024). Спосіб захисту великопанельних багатоповерхових будинків від землетрусів та осідань основи. Патент UA 155402. 28.02.2024.

УДК 692.23

## ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ У БУДІВНИЦТВІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

В. М. БАКУЛІНА<sup>1</sup>, ст. викладач;

А. А. ДМИТРЕНКО, студентка 3 курсу бакалаврату  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua)

Велике значення має захист конструкцій від пожежі та збільшення часу для евакуації при пожежі [1–3]. Сучасні фарби, спреї, герметики дають можливість для збільшення часу при евакуації, це має значення особливо в час

коли виникають пожежі при пошкодженні будівель при бомбардуванні наших міст та населених пунктів.

#### Основні покриття для плит перекриття та покриття [4].

##### → Ammokote GP-240 (Спрей):

Призначений для підвищення межі вогнестійкості сталевих та залізобетонних конструкцій до 240 хвилин, рис 1.



Рис. 1. Механізоване нанесення вогнезахисного покриття

Це теплоізоляційний спрей на повітряному в'язучому з підвищеною адгезією до металу (як пофарбованого, так і ні).

Забезпечує мінімальне навантаження на конструкції та має групу поширення вогню М0 (штукатурного типу) на будівельні конструкції.

##### → Ammokote MS-90 (Фарба):

Тонкошарова інтумесцентна (вспучувальна) фарба на органічному розчиннику для захисту сталі до 90 хвилин.

Містить високоефективні наноструктурні антипірени.

Вирізняється підвищеною міцністю на вигин та пролонгованим терміном експлуатації, рис. 2.



Рис. 2. Нанесення тонкошарового вогнезахисного покриття сталевих металоконструкцій за допомогою механізованого обладнання

##### → Ammokote FB-300 (Плита):



Рис. 3. Монтаж вогнезахисних плит

Легка плита для захисту конструкцій до 300 хвилин та виготовлення вогнестійких повітроводів. Монтується без використання підконструкцій і не потребує додаткового декорування.

### Засоби герметизації та ущільнення [4]

#### → Ammokote MF-180 (Герметик):

Водостійкий вспучувальний герметик з високою пластичністю, рис. 4.

Використовується для монтажу та герметизації збірних систем конструктивного вогнезахисту.

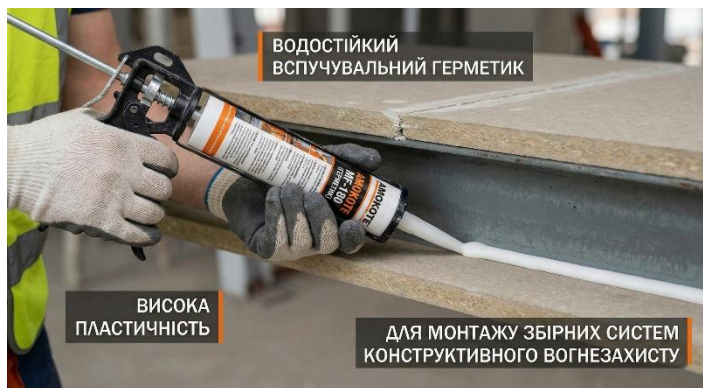


Рис. 4. Механізоване нанесення вогнезахисного герметика на конструкції



Рис. 5. Монтаж (наклеювання) самоклеючої термоущільнювальної протипожежної стрічки

#### → Ammokote FS (Стрічка):

Самоклеюча термоущільнювальна стрічка для протипожежних дверей, сейфів та клапанів.

Стійка до вологи, агресивних середовищ та перепадів температур.

#### Допоміжні та клейові склади [4]

#### → Ammokote QUARTZ (Ґрунтовка):



Полімерна водно-дисперсійна адгезійна ґрунтовка.

Підвищує зчеплення вогнезахисних штукатурок зі сталевими та бетонними поверхнями; має високу стійкість до лугів.

→ **Аммокоте КС (Клей):**

Термічно стійкий неорганічний клей, рис. 6.



Рис. 6. Нанесення вогнетривкого клею для плит

Спеціально розроблений для склеювання вогнезахисних плит Ammokote при виготовленні інженерних систем та конструкцій.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.1-7: 2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.
2. Бакулін Є.А., Першаков В.М., Белятинський А.О., Бакуліна В.М. Проблеми протидії пожежної небезпеки та вогнестійкість висотних будівель. Частина 1 : Досвід проектування, будівництва та експлуатації : монографія. К. : НАУ, 2016. 103с.
3. Бакулін Є.А., Першаков В.М., Белятинський А.О. Проблеми протидії пожежної небезпеки та вогнестійкість висотних будівель. Частина 2: Причини та наслідки руйнування висотних будівель від дії вогню : монографія. К.: НАУ, 2017. 261 с.
4. URL: <https://ammokote.com/>
5. Яковенко І. А., Бакулін Є. А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України. Зб. тез доп. Х Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання». К. : НУБіП України, 2023. С. 488–491.
6. Barabash M.S., Bashynskyi O.V. Some approaches to modeling blast wave impact on structures in LIRA-FEM. Strength of Materials and Theory of Structures. 2024.Vol.113. P. 241-249. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.241-249>



УДК 711.168

## ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ЕКСПЛУАТОВАНИХ ПОКРІВЕЛЬ

Є. А. БАКУЛІН<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;

М. В. МУЗИЧКО<sup>2</sup>, студентка 1-го курсу магістратури

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulin\\_evgeniy@nubip.edu.ua](mailto:bakulin_evgeniy@nubip.edu.ua)

<sup>2</sup>E-mail: [btsi25-m.muzychko@nubip.edu.ua](mailto:btsi25-m.muzychko@nubip.edu.ua)

Експлуатовані покрівлі набули широкого застосування у сучасному будівництві завдяки раціональному використанню площі будівель [1]. Такі покрівлі можуть використовуватися як тераси, зони відпочинку, зелені покрівлі. В умовах інтенсивної експлуатації особливу роль відіграє надійна гідроізоляція, яка забезпечує захист будівельних конструкцій від проникнення вологи, передчасного зносу та руйнування. Актуальність теми зумовлена необхідністю вибору оптимальних матеріалів і конструктивних рішень відповідно до вимог діючих будівельних норм України [5].

Для гідроізоляції експлуатованих покрівель застосовується широкий спектр матеріалів, вибір яких залежить від типу покрівлі, характеру навантажень, кліматичних умов та економічних факторів.

До основних видів належать рулонні бітумні та бітумно-полімерні матеріали, мастики, рубероїд, армовані полімерні плівки, сучасні полімерні мембрани, а також безшовні рідкі гідроізоляційні системи, рис. 1. Кожен із цих матеріалів має свої переваги та обмеження щодо застосування на експлуатованих покрівлях, табл. 1.

Рубероїд є одним із найстаріших гідроізоляційних матеріалів, що виготовляється на основі картону, просоченого бітумом. Його основними перевагами є низька вартість і простота монтажу [2].



Рис.1. Покрівлі з рубероїда



Рис. 2. Фрагмент нанесення  
гідроізоляційної мастики на поверхню

Водночас рубероїд має низьку довговічність, недостатню механічну міцність і практично не застосовується у сучасних експлуатованих покрівлях, за винятком тимчасових або допоміжних конструкцій.

Таблиця 1

**Порівняльна таблиця гідроізоляційних матеріалів**

| Матеріал                            | Коротка характеристика                            | Довговічність | Стійкість до навантажень | Доцільність для експлуатованої покрівлі |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| рубероїд                            | традиційний бітумний матеріал на картонній основі | низька        | низька                   | недоцільний                             |
| бітумні мастики                     | безшовне покриття, зручне для вузлів              | середня       | низька–середня           | обмежена                                |
| бітумно-полімерні рулонні матеріали | покращена версія бітумних матеріалів              | середня       | середня                  | допустима                               |
| армовані полімерні плівки           | легкі матеріали з армуванням                      | середня       | середня                  | обмежена                                |
| ПВХ-мембрани                        | еластичні зварні мембрани                         | висока        | висока                   | доцільна                                |
| ТПО-мембрани                        | стійкі до температур і УФ                         | висока        | висока                   | оптимальна                              |
| EPDM-мембрани                       | каучукові мембрани з великим строком служби       | дуже висока   | висока                   | найбільш доцільна                       |

**Бітумно-полімерні** матеріали широко використовуються у вітчизняній практиці завдяки доступній вартості та відпрацьованій технології монтажу. Вони характеризуються достатньою водонепроникністю та хорошою адгезією до основи. Однак їхнім недоліком є обмежена еластичність при низьких температурах і підвищена чутливість до механічних пошкоджень, що є критичним для експлуатованих покрівель.

**Полімерні мембрани** (ПВХ, ТПО, EPDM) є сучасним рішенням для гідроізоляції експлуатованих покрівель. Вони відзначаються високою еластичністю, стійкістю до ультрафіолетового випромінювання та тривалим терміном служби. Мембрани зварюються гарячим повітрям, що забезпечує герметичність швів. Недоліком є вища вартість матеріалів і монтажу порівняно з рулонною бітумною гідроізоляцією.

**Гідроізоляційні мастики** (бітумні, бітумно-полімерні, поліуретанові) наносяться у рідкому стані та після твердіння утворюють суцільний безшовний водонепроникний шар. Основною перевагою мастик є можливість обробки складних ділянок і вузлів примикання. Недоліками є залежність якості покриття від умов нанесення та обмежена стійкість до механічних навантажень без захисних шарів [5, 6].

З урахуванням умов експлуатації експлуатованих покрівель найбільш доцільним є використання полімерних мембран, зокрема ТПО (рис. 1) або EPDM, які поєднують високу надійність, довговічність та ремонтпридатність. Вищі початкові витрати компенсуються зниженням витрат на обслуговування та ремонт у процесі експлуатації.

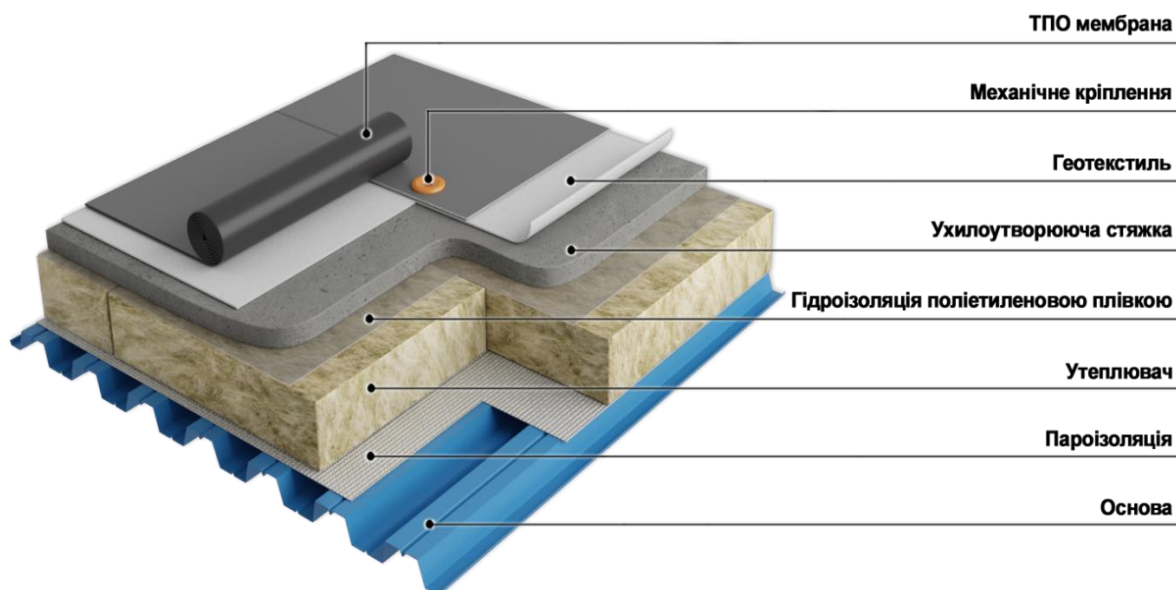


Рис.3. Вузол гідроізоляції ТПО мембрани [5]

**Висновок.** У результаті виконаного аналізу встановлено, що надійність і довговічність експлуатованої покрівлі визначаються правильним вибором гідроізоляційного матеріалу та дотриманням вимог до його монтажу [3, 5, 6]. Порівняння традиційних і сучасних гідроізоляційних матеріалів показало, що за умов інтенсивної експлуатації найбільш доцільним є застосування полімерних мембран у складі інверсійної покрівельної системи.

Таке рішення забезпечує високий рівень водонепроникності, захист гідроізоляційного шару від зовнішніх впливів та відповідність вимогам чинних ДБН України [4]. Дотримання нормативних вимог і уникнення типових помилок під час монтажу дозволяє значно підвищити експлуатаційну надійність покрівлі та зменшити витрати на її утримання протягом усього строку служби будівлі.

### Список використаних джерел

1. Bakulin Ye.A., Yakovenko I.A., Bakulina V.M. Engineering protection and preparation of territories : study guide. Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. 205 p.
2. Бакулін Є.А., Ключев В.В. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2024. № 15. С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>
3. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навч. посіб. К. : Вид. центр НУБіП України, 2024. 264 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>
4. ДБН В.2.6–31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель : [Чинний від 2022-09-01]. К. : Мінрегіон України, 2022. 23 с.

5. URL: <https://aquaizol.ua> – “Laying technology of bitumen membranes”

6. URL: <https://1d.ua> – “Обмазувальна гідроізоляція покрівлі: технічні вимоги та характеристики”

УДК 69.026.6

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ ЛІФТІВ ALIMAK (СЕРІЇ SE, SE-H, SE-EX)

**В. М. БАКУЛІНА**<sup>1</sup>, ст. викладач;

**В. А. НОВІКОВА**<sup>2</sup>, студентка 3-го курсу бакалаврату

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E-mail: [bakulina\\_valentina@nubip.edu.ua](mailto:bakulina_valentina@nubip.edu.ua); <sup>2</sup>E-mail: [avokivonarel@gmail.com](mailto:avokivonarel@gmail.com)

Промислові ліфти **ALIMAK** є високонадійними підйомними установками, призначеними для вертикального транспортування людей і вантажів у складних умовах промислової та будівельної експлуатації [1]. Вони застосовуються на об'єктах з високою інтенсивністю роботи, де необхідне безперервне, безпечне та ефективне переміщення персоналу, обладнання і матеріалів на значні висоти [4, 5]. Конструкція ліфтів **ALIMAK** базується на щогловій рейковій системі, що забезпечує стійкість, плавність руху та точність позиціонування кабіни. Модульна будова щогли дозволяє швидко монтувати й демонтувати обладнання [2], а також адаптувати його до різних висот і умов експлуатації.

Промислові ліфти **ALIMAK** випускаються у кількох серіях, що відрізняються вантажопідйомністю, висотою підйому та рівнем безпеки, завдяки чому можуть використовуватися як у стандартних промислових умовах, так і в середовищах з підвищеними механічними навантаженнями або вибухонебезпекою [3]. Вони відповідають міжнародним нормам і стандартам безпеки, зокрема ANSI, АТЕХ та NEC, що гарантує надійну та безпечну експлуатацію обладнання. Застосування частотних перетворювачів або систем прямого увімкнення забезпечує ефективну роботу приводу, економію енергії та плавність ходу. Завдяки поєднанню міцної конструкції, високих технічних характеристик і широкого спектра застосування промислові ліфти **ALIMAK** є ефективним рішенням для сучасних промислових, енергетичних, будівельних та нафтогазових об'єктів.

### ПРОМИСЛОВІ ЛІФТИ ALIMAK СЕРІЇ SE

Ліфти **ALIMAK** серії **SE** (рис.1) є базовою та найбільш універсальною лінійкою промислових ліфтів. Вони призначені для вертикального транспортування **персоналу та вантажів** на промислових і будівельних об'єктах з високою інтенсивністю експлуатації.



Рис. 1. Ліфти ALIMAK серії SE

#### Технічні характеристики:

- вантажопідіймальність: 300 – 2000 кг;
- клас навантаження (ANSI): клас А;
- швидкість переміщення: 0,4 – 1,0 м/с;
- максимальна висота підйому: до 250 м;
- кабіна: близько 30 варіантів виконання;
- габарити кабіни (внутрішні): ширина: 0,78 – 1,56 м;
- довжина: 1,04 – 2,60 м; висота: 2,17 м;
- тип приводу: з частотним перетворювачем або пряме увімкнення;
- кількість двигунів: 1 (або 2) ;
- живлення: 380–500 В, 50/60 Гц, трифазне;
- щогла: модульна, секції довжиною 1,508 м.

Сфера застосування: будівельні майданчики; промислові підприємства; шахти, вежі, силоси; об'єкти з регулярним переміщенням людей і вантажів.

Серія SE — оптимальне рішення для стандартних промислових умов без надмірних навантажень чи вибухонебезпечного середовища.

#### ПРОМИСЛОВІ ЛІФТИ ALIMAK СЕРІЇ SE-H

Серія **SE-H** (рис.2) є посиленою модифікацією ліфтів SE та розрахована на транспортування **важких і великогабаритних вантажів**. Конструкція адаптована до підвищених механічних навантажень і тривалої інтенсивної роботи.



Рис. 2. Ліфти ALIMAK серії SE-H

#### Технічні характеристики:

- вантажопідіймальність: 2100 – 3300 кг;
- класифікація навантаження (ANSI): клас А, В, С1, С2, С3;
- швидкість переміщення: 0,52 – 0,7 м/с;
- максимальна висота підйому: до 125 м;
- кабіна: 9 варіантів виконання;
- габарити кабіни (внутрішні): ширина: 1,56 або 1,82 м; довжина: 2,60 – 3,90 м; висота: 2,35 м;
- тип приводу: з частотним перетворювачем або пряме увімкнення
- кількість двигунів: 3
- живлення: 380–500 В, 50/60 Гц, трифазне
- тип щогли: А-50
- довжина секції щогли: 1,508 м.

Сфера застосування: промислові комплекси; електростанції; металургійні та машинобудівні заводи; об'єкти з монтажем важкого обладнання.

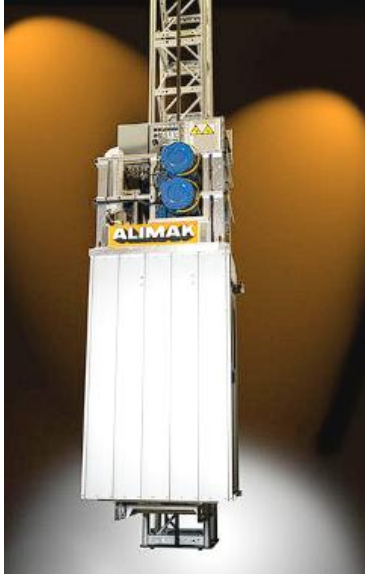
SE-H використовується там, де стандартні ліфти SE вже не забезпечують необхідної вантажопідіймальності.



## ПРОМИСЛОВІ ЛІФТИ ALIMAK СЕРІЇ SE-EX

Серія SE-Ex (рис. 3) — це спеціалізовані **вибухозахищені ліфти**, призначені для роботи в умовах підвищеної небезпеки.

Вони розроблені з урахуванням міжнародних стандартів безпеки для вибухонебезпечних середовищ.



### Технічні характеристики:

- вантажопідймальність: 1200 – 2800 кг (з частотним перетворювачем); 450 – 2000 кг (пряме увімкнення);
- швидкість переміщення: 0,52 – 0,7 м/с (з ЧП); 0,32 – 0,6 м/с (пряме увімкнення);
- максимальна висота підйому: до 80 м;
- кабіна: мін. 0,78 × 1,82 м; макс. 1,30 × 3,90 м;
- кількість двигунів: 1–3;
- живлення: 380–500 В, 50/60 Гц, трифазне;
- нормативи: АTEX, NEC;
- клас захисту АTEX: зона 1 або 2, групи газу ІА, ІВ.

Рис 3. Ліфт ALIMAK  
серії SE-Ex

Сфера застосування: нафто- і газопереробні заводи; морські бурові платформи; хімічні підприємства; термінали зрідженого газу.

SE-Ex — незамінні для об'єктів із ризиком вибуху, де стандартні ліфти використовувати заборонено.

Ліфти **ALIMAK серії SE** забезпечують гнучке рішення для стандартних умов, **SE-H** — для важких промислових навантажень, а **SE-Ex** — для небезпечних вибухонебезпечних середовищ.

Правильний вибір серії дозволяє підвищити ефективність і безпеку промислових процесів.

### Список використаних джерел

1. Bakulin Ye.A., Bakulina V.M., Kostyra N.O. Volume-Spatial Decisions of Buildings and Structures : ed. man. Kyiv : NULES of Ukraine, 2025. 262 p.
2. Marienkov M., Yakovenko I., Bakulin Y., Babik K. Influence of Vibrations Analysis of the Agricultural Seed Conditioning Industrial Building Complex. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2025. Vol. 712. P. 172–185. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95663-8_18)
3. Ponomarov P.Y., Kostyra N.O. Stress-strain state of the elevator working tower floor under dynamic. *Теорія та практика дизайну. Архітектура та будівництво*. К.: KAI, 2025. №36. С. 116–125. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.11>

4. Kaliukh I., Trofymchuk O., Berchun V. & oth. The excessive tilts elimination in the high-rise buildings using an experimental information and analytical system and digital twins. Fib Symposium 2024. ReConStruct: Resilient Concrete Structures. Christchurch, New Zealand 11–13 November 2024. 2024. P. 2326–2336. <https://www.scopus.com/pages/publications/85216934515>

5. Бакулін Є.А., Хомич С.В. Аналіз напружено-деформованого стану каркасу висотної будівлі при оптимізації вертикальних конструктивних елементів. Збірник наукових праць «Вісник факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України» (14 листопада 2022 р., м. Київ). К. : НУБіП України. С. 89–91.

**УДК 624.042.7**

## **СЕЙСМОЗАХИСТ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ІЗОЛЯТОРІВ**

**М. Г. МАР'ЄНКОВ<sup>1</sup>**, д.т.н., с.н.с.;

**Д. О. ФУРСА**, студент 2-го курсу магістратури;

**В. В. ЛІСОГОР**, студент 2-го курсу магістратури

*Національний університет біоресурсів і природокористування*

<sup>1</sup>E-mail: [m.maryenkov@nubip.edu.ua](mailto:m.maryenkov@nubip.edu.ua)

Згідно до вимог норм України [1] та Єврокоду 8 [2] мета проектування системи сейсмоізоляції багатоповерхових будівель - зниження сейсмічної реакції будівель і захист їх від землетрусів. Зменшення сейсмічної реакції досягається за допомогою збільшення періоду коливань основного тону ізольованої системи, зменшенням форми основного тону коливань, збільшенням демпфірування системи.

Багатошарові гумометалеві ізолятори (рис. 1) системи сейсмосахисту встановлюється між фундаментом і верхньою частиною конструкції будівлі (суперструктурою згідно термінології Єврокоду 8 [2]). Для зменшення кутових коливань будівлі в вертикальній площині вертикальна жорсткість ізолятора повинна перевищувати горизонтальну жорсткість (при зсуві) у 150 разів.

Гумометалевий ізолятор повинен бути оснащений фланцями для кріплення до ізольованих монолітних конструкцій будівлі та фундаменту [3]. Ізолятор повинен бути захищений гумовим покриттям із зовнішнього боку, як контрзахід проти впливів навколишнього середовища. Конфігурація у плані гумометалевого ізолятора має бути у вигляді кола. Для підвищення демпфування встановлюється в центрі ізолятора додатковий елемент – свинцевий сердечник.

Як геометричні фактори, що визначають конфігурацію гумометалевих ізоляторів, використовують два коефіцієнти: перший фактор форми  $S_1$  і другий фактор форми  $S_2$  [3, 4]. Ці два коефіцієнти мають суттєвий вплив на жорсткість при стисканні та стійкість гумометалевих ізоляторів при дії стискаючої сили та наявності горизонтальних переміщень.

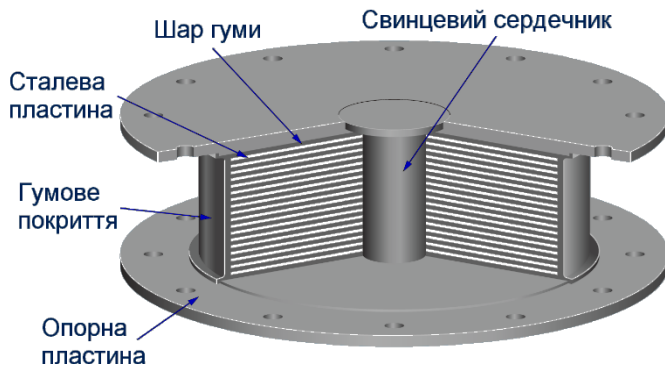


Рис. 1. Багатошаровий гумометалевий ізолятор зі свинцевим сердечником

Розрахунок параметрів системи сейсмоізоляції каркасної будівлі з використанням багатошарових гумометалевих опор (ізоляторів) проведено згідно рекомендацій стандартів Європи [3] та Японії [4].

*Вихідні дані для розрахунку:*

Вага будівлі (вертикальні статичні постійні навантаження на усі сейсмоопори системи ізоляції):  $Q=60400$  кН.

Сейсмічність будівельного майданчика згідно ДБН В.1.1-12:2014 [1]: 8 балів. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями: 2 категорія.

Кількість опор в системі сейсмосахисту будівлі приймаємо:  $N_b=28$ ; діаметр зовнішній гумового шару опори  $D=0,5$  м; діаметр свинцевого сердечника:  $d_s = 0,06$  м; товщина одного гумового шару:  $t_r = 0,006$  м; кількість гумових шарів в одній опорі:  $n = 20$ .

Динамічний модуль пружності гуми марки 2959 за результатами випробувань в Україні [6]:  $E_0 = 7$  МПа. Динамічний модуль зсуву гуми:  $G = \frac{E_0}{3} = 2.333$  МПа. Об'ємний модуль гуми згідно EN 15129 [3]:  $E_r = 2000$  МПа.

Товщина однієї сталевих пластини:  $t_s = 0.004$  м; кількість сталевих пластин в опорі:  $N_s = 20$ .

Загальна висота сейсмоопори (сума товщин шарів гуми та сталевих пластин):  $H = n \cdot t_r + N_s \cdot t_s = 0,2$  м.

Площа гумового шару із врахуванням отвору для сердечника:

$$A = 3.14 \cdot \left( \frac{D^2 - d_s^2}{4} \right) = 0.193 \text{ м}^2.$$

Маса будівлі (суперструктури) вище сейсмоопор:

$$\text{Маса будівлі } m = \frac{Q}{g} = 6040 \text{ тон.}$$

Вертикальне статичне навантаження на одну опору:

$$P = \frac{Q}{Nb} = 2.157 \times 10^3 \text{ кН}.$$

Напруження стиску в гумовому шарі опори від статичних вертикальних навантажень будівлі (напруження повинно бути не більше 15 МПа [4]):

$$\sigma_z = \frac{P}{A} = 1.115 \times 10^4 \text{ кПа} \quad \sigma_z = 0.001 \cdot \sigma_z = 11.152 \text{ МПа}.$$

Період  $T_z$  власних вертикальних коливань будівлі (суперструктури) на сейсмоопорах повинен бути не більше 0,1 с згідно рекомендацій норм [1,2]. Приймаємо:  $T_z = 0.1 \text{ с}$ .

Необхідну вертикальну жорсткість усіх сейсмоопор  $K_s$  та однієї  $K_{s1}$  сейсмоопори визначаємо за відомою залежністю:

$$K_s = m \cdot \left( \frac{6.28^2}{T_z^2} \right) = 2.428 \times 10^7 \frac{\text{кН}}{\text{м}}; \quad K_{s1} = \frac{K_s}{Nb} = 8.672 \times 10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Вертикальна осадка опори від статичного навантаження:

$$Z = \frac{P}{K_{s1}} = 2.487 \times 10^{-3} \text{ м} \quad Z = Z \cdot 1000 = 2.487 \text{ мм}.$$

Перший фактор гумового ізолятора:  $S_1 = \frac{(D - ds)}{(4 \cdot tr)} = 18.333$ .

Другий фактор гумового ізолятора:  $S_2 = \frac{D}{(n \cdot tr)} = 4.167$ .

Модуль пружності гуми із урахуванням першого фактора:

$$E_{c0} = E_0 \cdot (1 + 2 \cdot S_1^2) = 4.713 \times 10^3 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий модуль гуми:  $E_c = E_{c0} \cdot \frac{Er}{Er + E_{c0}} = 1.404 \times 10^3 \text{ МПа};$

$$E_c = E_c \cdot 10^3 = 1.404 \times 10^6 \text{ кПа}.$$

Розрахункова вертикальна жорсткість однієї багатошарової гумо металевої сейсмоопори (ізолятора):

$$K_v = \frac{E_c \cdot A}{n \cdot tr} = 2.263 \times 10^6 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Розрахункова горизонтальна жорсткість усіх  $Nb$  сейсмоопор:

$$K_h = Nb \cdot 1000 \cdot G \cdot \frac{A}{n \cdot tr} = 1.053 \times 10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Розрахункова горизонтальна жорсткість однієї сейсмоопори:

$$K_{h1} = \frac{K_h}{Nb} = 3.761 \times 10^3 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Квадрат кутової горизонтальної частоти коливань будівлі на сейсмоопорах:  $\omega^2 = \frac{K_h}{m}$ .

Частота горизонтальних коливань сейсмоізолюваної будівлі:  $\omega = 4.136 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

. Період горизонтальних коливань будівлі:  $T_h = \frac{6.28}{\omega} = 1.518 \text{ с}.$

Згідно ДБН В.1.1-12:2014 [1] для другої категорії ґрунтів коефіцієнт динамічності:

$$\beta = \frac{1.8}{Th^{\frac{2}{3}}} = 1.362.$$

Прискорення ґрунту при 8 балах:  $ah = 2 \frac{m}{c^2}$ .

Сейсмічне горизонтальне навантаження на будівлю при 8 балах:

$$Sh = m \cdot ah \cdot \beta = 1.678 \times 10^4 \text{ кН}.$$

Сейсмічне горизонтальне навантаження на одну сейсмоопору:

$$Sh1 = \frac{Sh}{Nb} = 599.199 \text{ кН}.$$

Горизонтальне переміщення верха сейсмоопори:  $X = \frac{Sh1}{Kh1} = 0.159 \text{ м}.$

Зсувна деформація опори:  $\gamma = \frac{X}{H} = 0.797$ .

Гранична зсувна деформація опори  $\gamma_b$  визначається при випробуваннях сейсмоопор до руйнування. Значення  $\gamma$  повинно бути менше  $\gamma_b$  в 1.2 рази. Модуль пружності гуми при згині сейсмоопори  $Eb1$ :

$$\frac{1}{Eb1} = \frac{1}{E_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot S1\right)} + \frac{1}{Er}; \quad Eb1 = 88.462 \text{ МПа}.$$

Критичне напруження при стиску опори:

$$\sigma_{cr} = \frac{3.14 \cdot S2 \cdot (Eb1^{0.5} \cdot G^{0.5})}{4} = 46.992 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження  $\sigma$  при стиску опори:

$$\sigma = \sigma_{cr} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{S2}\right) = 38.008 \text{ МПа}.$$

Напруження при зсуві у гумових шарах опори:

$$\tau = \frac{Sh1}{A} = 3.098 \times 10^3 \text{ кПа}; \quad \tau = \frac{\tau}{1000} = 3.098 \text{ МПа}.$$

Розрахункові параметри сейсмоізолюючих опор необхідно перевіряти при випробуваннях статичними та динамічними навантаженнями згідно методик, які приведено в EN 15129 [3].

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні дії, правила щодо споруд (EN 1998-1:2004, IDT).
3. EN 15129:2010, Anti-seismic devices, IDT.



4. Masaru Kikuchi, Nobuyki Ogino (2018). Seismic Isolation Devices. Principle and application of SI devices, introduction of examples, International seminar “Technologies of earthquake-resistant construction” Sep. 17-19, 2018, Almaty, Kazakhstan.

5. Marienkov M., Kaliukh I., Trofymchuk O. The digital twin use for modeling the multi-storey building response to seismic impacts. *Structural Concrete*. 2024. Vol. 25(3). P. 2079–2096. <https://doi.org/10.1002/suco.202300695>.

6. Bulat A., Lysytsia M., Lapin V & oth. Development and implementation of vibroseismic protection of buildings and structures from external dynamic loads. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1348(1). no 012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012066>.

***Секція 8 «Надійність транспортних систем  
АПК»***

УДК 65.012.

## ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ПОСТАЧАНЬ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ НАДІЙНОСТІ

**О. М. ЗАГУРСЬКИЙ** д.е.н., професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ*  
 E-mail: [zagurskiy@nubip.edu.ua](mailto:zagurskiy@nubip.edu.ua)

З метою економії ресурсів будь-який економічний суб'єкт має правильно вибудувати систему обмежень на ресурси, що використовуються та ключові фактори впливу на надійність на будь-якому рівні ланцюга постачань. Проте кількість завдань оптимізації логістичних процесів у багаторівневих мережевих ланцюгах постачань з погляду підвищення їх надійності надзвичайно велика, а їх склад різноманітний [1]. Тому оптимальний план постачання знаходиться в результаті вирішення задачі математичного програмування, де в план оптимізації включена надійність каналу мережі, де цільова функція системи може бути записана в наступному вигляді [2]:

$$S(X_0) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (1 - \prod_{j=1}^n P_{ij}) X_{ij} \times Z_j \times C_j \rightarrow \min; \quad (1)$$

за обмежень:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times Z_j = Q_0; \text{ вимог до об'ємів постачань}$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \times Z_j \leq q_j; \quad j = 1, n \text{ вимог до потужності каналів постачань}$$

$$1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n P_{ij}) \geq P_0; \text{ if } X_{ij} \geq 0 \text{ вимог до безвідмовності постачань}$$

$$Z_j \geq d; \quad j = 1, n \text{ вимог до мінімального об'єму замовлення}$$

де:  $Z_j$  – оптимальний план  $j$ -го каналу постачань;

$C_j$  – собівартість  $j$ -го каналу постачань;

$Q_j$  – об'єм  $j$ -го каналу постачань;

$q_j$  – можливий обсяг (потужність) постачань по  $j$ -го каналу.

Такий підхід дозволяє вирішити задачу не тільки забезпечення необхідної безвідмовності постачань з мінімальними витратами, а й вибрати ланцюг із каналів з найбільшою надійністю. Дана модель є одним із напрямків у розвитку моделей оптимізації планування постачань з урахуванням надійності (безвідмовності) виконання стратегічних планів та визначення ланцюгів постачань з високою надійністю.

Проте зважаючи на те, що мережа постачань може складатися з каналів з різними характеристиками, мережева модель структурної надійності, зазвичай, включатиме канали, що складаються з окремих постачальників і ланцюгів постачань або навіть цілі підмережі з відносно складною (фрактальною) структурою [3].

З рис 1 видно, що для забезпечення заданої ймовірності безвідмовної роботи ланцюга постачань  $P_0$  необхідно створити мережу з  $n$  каналів шляхом аналізу постачальників на ринку та оцінки їх потенційних функціональних

можливостей. Ці постачальники для забезпечення власної ймовірності безвідмовної роботи  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , у свою чергу, на основі тих же принципів можуть будувати мережі рівня 3, 4 і більших рівнів.

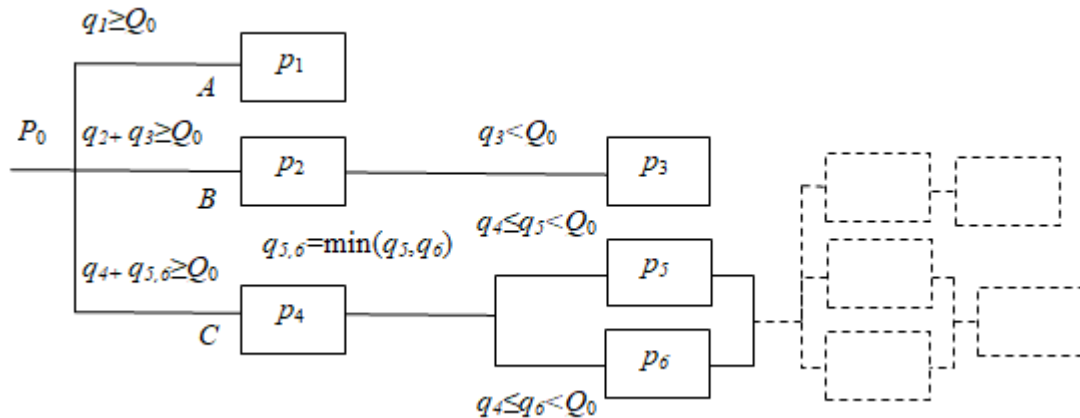


Рис1 Багаторівнева модель структурної надійності мережі постачань

Відповідно для замовника проблема побудови мережі постачань перетворюється на проблему вибору найбільш економічно надійного каналу, який відповідає вимогам щодо функціональних параметрів (таких як безвідмовна продуктивність, визначена за допомогою формули для послідовно-паралельної структури ланцюга постачань) [4]:

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n p_j) x_{ij}, m \leq n, \text{ if } x_{ij} \text{ not } 0, \quad (2)$$

де:  $n$  – кількість постачальників,

$m$  – кількість ланцюгів постачання (каналів),

$x_{ij}$  – бінарна змінна (змінна вибору), що приймає значення 1, якщо потужність  $j$ -постачальника включеного в  $i$ -й канал постачання дозволяє задовольнити попит  $\sum_{j=1}^n q_j x_{ij} \geq Q_0$ , 0 якщо не дозволяє  $\sum_{j=1}^n q_j x_{ij} \leq Q_0$ . Бінарна змінна служить для формування  $m$  ланцюгів з  $n$  каналів.

Така модель забезпечує гнучкість ланцюга постачань із заданою безвідмовністю за рахунок можливості регулювання обсягів постачань каналами.

### Список використаних джерел

1. Тімумі А., Гангвар М., Мантрала М.К. Міжканальний вплив омніканальних маркетингових стратегій роздрібної торгівлі: огляд існуючих досліджень, заснованих на даних, Журнал роздрібної торгівлі, том 98, випуск 1, 2022, 133-151.
2. Zagurskyi O., Pokusa T., Ohienko M., Zagurska S., Ohienko A., Titova L., Rogovskii I. Management of assessment of reliability of supply chains. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024; 247.

3. Zagurskiy O., Pivtorak M., Bondariev S., Demin O., Kolosok I. Methods of reliability management in supply chain. Proceedings of 22st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 24-26.05.2023 Jelgava, LATVIA. 76-84. URL. <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2023/>

4. Zagurskiy O., Duczmal W., Savchenko, L., et al., Models of Formation of Reliability of Supply Chains for the Supply of Agricultural Products. Research on World Agricultural Economy. 2024.. 5(3): 14-23. DOI: <https://doi.org/10.36956/rwae.v5i3.1123>.

**УДК: 656.073.28(477.51)**

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЧЕПІВ-БУНКЕРІВ-НАКОПИЧУВАЧІВ ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

**О. А. ДЬОМІН**, д. пед. н., доцент

**Н. А. ГЛІБОВСЬКИЙ**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [domin@nubip.edu.ua](mailto:domin@nubip.edu.ua)*

Використання перевантажувальних бункерів-накопичувачів (ПБН) під час збирання зернових підвищує продуктивність комбайнів у середньому на 30%, усуваючи простої через очікування транспорту. ПБН забезпечують безперервний збір урожаю, дбайливо ставляться до ґрунту, дозволяють перевозити різні культури, а також мінімізують час на вивантаження зерна.

Ключові переваги та ефективність ПБН:

- Збільшення продуктивності: Комбайни працюють без зупинок на вивантаження, що підвищує їх ефективність на 30%.
- Логістична оптимізація: Бункер приймає зерно, дозволяючи комбайну не їхати до краю поля, що особливо актуально при відстані перевезення понад 15 км.
- Зниження навантаження на ґрунт: ПБН зазвичай оснащені шинами низького тиску, що запобігає глибокому ущільненню ґрунту, на відміну від важких автомобілів-зерновозів.
- Універсальність: Можна використовувати для завантаження сівалок та внесення добрив, що підвищує загальну рентабельність техпарку.
- Зниження втрат: Використання спеціалізованих бункерів забезпечує швидке та акуратне транспортування зерна від комбайна, мінімізуючи втрати.

Застосування ПБН є найбільш ефективним у комплексі з потужними комбайнами та на великих площах, де критично важлива швидкість збирання. Але слід відміти, що існують також недоліки пов'язані з використанням ПБН,



що створює ризики пошкодження збиральних комбайнів і виникнення необхідності тривалого їх ремонту. Вихід з ладу зернозбирального комбайна під час вивантаження зерна в бункер-перевантажувач (ПБН) на ходу найчастіше пов'язаний із критичними навантаженнями на механізми вивантаження та порушенням синхронізації руху. Серед основних причин виходять з ладу комбайнів осьобливу увагу на себе звертають наступні його складові частини:

- вивантажувальний шнек: Через високу інтенсивність потоку зерна (особливо вологого) та роботу на ходу, шнек зазнає підвищеного тертя та вібрацій. Це призводить до зносу витків, деформації кожуха або поломки привідних валів.
- привідні паси та ланцюги: Перевантаження зерна створює надмірний опір, що викликає проковзування пасів, їх перегрів або обрив. Також можливе зрізання запобіжних шпильок (болтів), які захищають редуктор від заклинювання.
- механічні пошкодження через несинхронність: найменше відхилення в траєкторії руху комбайна або трактора з ПБН може призвести до удару вивантажувального шнека об борт бункера, або колеса перевантажувального агрегату об лівий край жатки, що спричинить серйозні деформації конструкції.

Останній недолік особливо небезпечний і його недопущення вимагає дотримуватись синхронізації швидкості, що забезпечує використання системи автоматичного водіння (GPS) для точного паралельного руху обох машин.

Під час вивантаження зерна в перевантажувач-бункер-накопичувач (ПБН) на ходу, мінімальний безпечний інтервал між боковими частинами машин (трактором і комбайном) (рис. 1) повинен становити не менше 1,5–2 метри. Ця відстань є критичною для запобігання зіткненням через нерівності рельєфу, можливі колювання техніки або помилки в маневруванні операторів.



Рис. 1. Приклад порушення критичних відстаней: між шнеком комбайна і бортом ПБН і між правими колесами трактора з ПБН і лівим краєм жатки комбайна

На основі аналізу перелічених недоліків використання ПБН, слід виділити наступні аспекти безпеки при перевантажуванні зерна на ходу:

- постійне здійснення контролю габаритів: оператор трактора повинен постійно орієнтуватися на край жатки або кабіни комбайна, щоб уникнути зачеплення бортів ПБН шнеком і жатки комбайна правими колесами.
- синхронізація швидкості: швидкість руху обох машин має бути ідентичною. Будь-яке різке прискорення або гальмування одного з учасників процесу скорочує безпечну дистанцію та може призвести до аварії.

**УДК 656.05**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІКО-ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЦІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ**

**О. М. ЗАГУРСЬКИЙ** д.е.н., професор,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: [zagurskiy@nubip.edu.ua](mailto:zagurskiy@nubip.edu.ua)

Ефективність інвестиційних проєктів у сучасних умовах господарювання тісно пов'язана з оцінкою поточного стану та виявлення основних тенденцій розвитку інвестиційного ринку. Процес вивчення інвестиційного ринку містить оцінку інвестиційної привабливості підприємств, яка в більшості випадків розроблена на основі дискримінантного аналізу. Однак сучасні умови господарювання характеризуються високим рівнем невизначеності, політичною нестабільністю, глобальними фінансовими кризами. При цьому ринкова невизначеність не володіє статистичною природою у класичному розумінні. Відповідно, застосовність до аналізу інноваційних рішень класичної вірогідності і ймовірнісних випадкових процесів вимагає додаткового спеціального обґрунтування, а фінансова практика потребує розробки нових підходів і моделей оцінки фінансового стану підприємства.

Так, невизначеності у системах прийняття рішень компенсують за допомогою різноманітних методів штучного інтелекту. Для ефективного прийняття рішень при невизначеності умов функціонування системи застосовують методи на основі правил нечіткої логіки. Такі методи ґрунтуються на нечітких множинах і використовують лінгвістичні величини і висловлювання для опису стратегій прийняття рішень.

Нечітко-множинні моделі, представлені у вигляді програмного забезпечення для персональних комп'ютерів, дозволяють менеджерам різного рівня і власникам підприємств приймати економічно грамотні рішення. Хоча вперше згадка про новий метод математичного моделювання з'явилася біля

півстоліття назад, дана область наукових досліджень в нашій країні до цих пір залишається мало вивченою.

Теорія нечітких множин представляє собою узагальнення і переосмислення найважливіших напрямів класичної математики. Це спроба поєднати як формалізовані (об'єктивні) так і неформалізовані (суб'єктивні) методи аналізу. Нечіткі множини ідеально описують суб'єктну активність особи, що приймає рішення (ОПР) в умовах ризику та невизначеності. Крім того, нечіткі числа (різновид нечітких множин) ідеально підходять для планування факторів в часі, коли їхня майбутня оцінка розмита і не має достатніх підстав вірогідності. Перевага методу полягає у тому що, всі сценарії по великій кількості окремих факторів можуть бути зведені в один сценарій у формі трикутного числа, де виділяються три точки: мінімально можливе, найбільш очікуване і максимально можливе значення фактора.

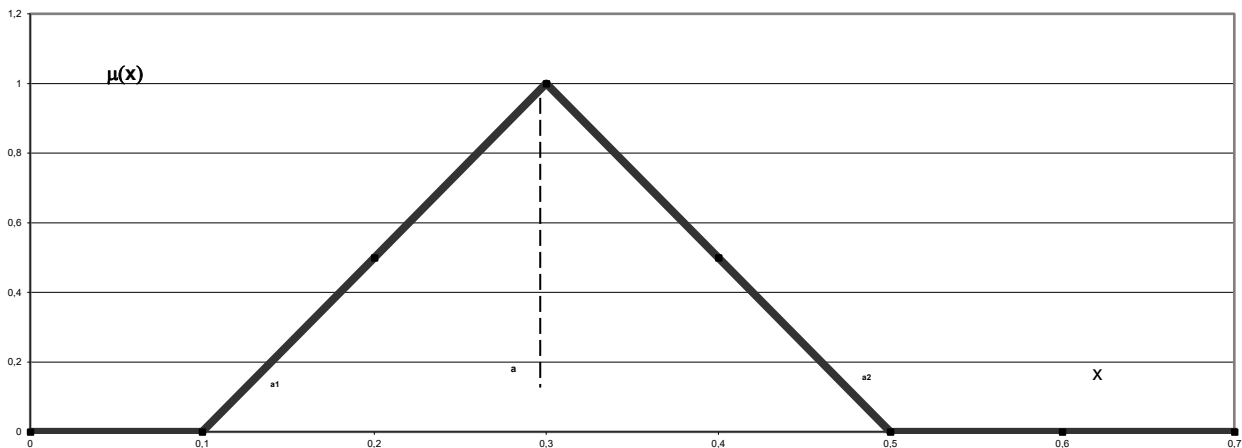


Рис.1 - Функція належності трикутного нечіткого числа

При цьому вага окремих сценаріїв формалізуються як трикутна функція належності рівня фактора нечіткій множині «приблизна рівність середньому». При описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин використовується поняття нечіткої і лінгвістичної змінних.

Нечітка змінна характеризується тріадою

$$\langle a, X, A \rangle,$$

де:  $a$  - найменування змінної,  $X$  - універсальна множина (область визначення  $a$ ),  $A$  - нечітка множина на  $X$ , що описує обмеження (тобто  $\mu_A(x)$ ) на значення нечіткої змінної  $a$ .

При оцінці ризиків інвестиційних проектів методами теорії ймовірності на множині вихідних станів задається дискретний розподіл ймовірності, при чому, сума ймовірності повинна дорівнювати 1. При моделюванні нечіткості використовують функцію розподілу, яка визначається на множині вихідних станів і приймає значення в сегменті  $[0,1]$ . Якість прийняття рішень зумовлена базою нечітких правил які визначаються експертним методом і тому можуть бути суб'єктивними або суперечливими. Подолання суперечливості правил, досягається поповненням і вдосконаленням бази правил. Отже теорія нечітких

множин дає підстави для аналізу неоднорідних і недостатніх вибірок, які не досліджуються в класичній теорії вірогідності, що в свою чергу дозволяє інвестору прийняти об'єктивне рішення щодо інвестування.

Проте, у сучасних умовах, особливо під час виявлення тенденцій на ринку чи в галузі виникає, необхідність дослідження великої кількості підприємств. Саме за них незамінним помічником стає автоматизована система підтримки прийняття рішень з її можливостями щодо швидкого аналізу інвестиційної привабливості підприємства.

За допомогою програми Visual Basic на базі Microsoft Windows нами побудована автоматизована система аналізу рівня інвестиційної привабливості підприємства (рис 2), що включає як основні формалізовані показники діяльності підприємства так і неформалізовані показники, описані та стандартизовані за допомогою правил нечіткої логіки та теорії нечітких множин.

The image shows two windows from a software application. The left window, titled 'Інформаційна база' (Information Base), contains a list of financial and operational indicators with corresponding input fields. The right window, titled 'Результати' (Results), displays a matrix of binary values (0s and 1s) for 10 indicators (X1 to X10) across five categories, along with a calculated value 'G' of 0.54 and a list of coefficients to be considered.

| Показник                                                                            | Значення |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Власний капітал                                                                     | 2544000  |
| Валюта балансу                                                                      | 6257300  |
| Чиста виручка від реалізації                                                        | 4342200  |
| Активи                                                                              | 6257300  |
| Оборотні активи                                                                     | 2104600  |
| Поточні зобов'язання                                                                | 3713300  |
| Грошові кошти короткострокові<br>фінансові вкладення,<br>дебіторська заборгованість | 1029400  |
| Чистий прибуток                                                                     | -530600  |
| Збільшення за період первісної<br>вартості основних засобів                         | 1528700  |
| Первісна вартість основних<br>засобів                                               | 3117400  |
| Ефективність менеджменту<br>підприємства                                            | 0,6      |
| Інвестиційна привабливість<br>регіону                                               | 0,6      |
| Імідж підприємства                                                                  | 0,6      |

Розрахунок

| Індикатор | Категорія 1 | Категорія 2 | Категорія 3 | Категорія 4 | Категорія 5 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| X1        | 0           | 0           | 0           | 0           | 1           |
| X2        | 1           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| X3        | 1           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| X4        | 0           | 1           | 0           | 0           | 0           |
| X5        | 1           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| X6        | 0           | 0           | 0           | 0           | 1           |
| X7        | 0           | 0           | 0           | 0           | 1           |
| X8        | 0           | 0           | 0           | 1           | 0           |
| X9        | 0           | 0           | 0           | 1           | 0           |
| X10       | 0           | 0           | 0           | 1           | 0           |

G: 0.54

Необхідно звернути увагу на наступні коефіцієнти:

- Коефіцієнт незалежності
- Коефіцієнт оборотності активів (коефіцієнт трансформації)
- Коефіцієнт загальної (поточної) ліквідності
- Коефіцієнт швидкої ліквідності
- Рентабельність активів за чистим прибутком
- Рентабельність власного капіталу за чистим прибутком Р<sub>в.к.</sub>
- Коефіцієнт оновлення основних засобів
- Ефективність менеджменту підприємства
- Інвестиційна привабливість регіону
- Індекс підприємства

Вивід

Рис. 2 Інтерфейс програми оцінки інвестиційної привабливості підприємства

*Джерело:* складено автором.

Дана програмна система надає наступні переваги автоматизації інвестиційного аналізу:

- підвищення оперативності управління;
- створення прозорості системи управління;
- можливість релевантного управління;
- підвищення точності планування;
- можливість вирішення широкого кола аналітичних задач, таких як аналіз ключових показників діяльності, фінансово-економічний аналіз, моделювання, прогнозування;

- неперервний оперативний контроль за ходом виконання плану на основі своєчасної і достовірної інформації про стан виробництва;
- незалежність аналітичного додатку від специфіки різних систем і можливість роботи зі всіма необхідними даними, незалежно від їх джерела.

### **Список використаних джерел**

1. Загурський О. М. Методика оцінки проекту технічного переоснащення на основі теорії нечітких множин. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 2018. – № 282. 97-106.
2. Zadeh L. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. Fuzzy sets and systems, 1997 – Vol. 90, – No. 2. – P. 111-127.
3. Zagurskiy O., Yukhymenko P., Sokolska T., Paska I, Lobunets V., Zhytnyk T., Zharikova O. «Management Models and Evaluation of Reputation Risks» International Journal of Recent Technology and Engineering, 2019. Volume 8 Issue-3S3. 136-141.

**УДК 339.13.017:629.33(477)**

## **СУЧАСНИЙ СТАН РИНКУ ВЖИВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ**

**Л. В. БАЩУК**, викладач  
*ВСП «Конопський індустріально-педагогічний фаховий коледж» Сум ДУ*

Ринок вживаних авто в Україні активно зростає, перевищуючи імпорт нових машин, і трансформується від стихійних продажів до цивілізованих комісійних майданчиків. Основними трендами є збільшення імпорту авто з Європи, цифровізація (продажі через онлайн-платформи) та сталий попит на електромобілі, попри складні логістичні та економічні умови [1, 2].

Загалом, ринок вживаних автомобілів продовжує бути основним рушієм автомобілізації в Україні, рухаючись у напрямку європейських стандартів продажу.

У 2025 році український ринок вживаних автомобілів продемонстрував активне зростання як у кількісному, так і у фінансовому вимірі. Вживані легковики та електромобілі залишаються ключовим джерелом оновлення автопарку для українців, а імпорт цього сегмента має відчутний вплив на митні надходження до державного бюджету.

Ринок вживаних автобусів в Україні у 2025 році демонструє зміну структури: внутрішні перепродажі скоротилися на 36,1% (3978 угод), тоді як



імпорт вживаних автобусів з-за кордону показує зростання. Лідером серед вживаних автобусів як на внутрішньому, так і на імпортному ринку залишається Mercedes-Benz Sprinter. Також популярні нідерландські VDL [1 - 3].

Спостерігається спад укладених угод на внутрішньому ринку, що може свідчити про оновлення парку та вихід старих автобусів з маршрутів. Імпорт вживаних автобусів стає популярнішим, оскільки українські перевізники оновлюють свій рухомий склад за рахунок європейської техніки. Крім Mercedes-Benz Sprinter, користуються попитом інші моделі німецького та нідерландського виробництва, що забезпечують кращу комфортність та надійність. В Україні діють потужності, такі як корпорація "Богдан" (Луцьк, Черкаси) та Львівський автобусний завод (ЛАЗ). Ринок вживаних автобусів в Україні значною мірою залежить від вартості імпорту та попиту на перевезення.

Ринок вживаних вантажівок (понад 3,5 т) в Україні в 2025 році демонструє високу активність імпорту (+48,2%) на фоні зниження внутрішніх перепродажів (-47,7%). Домінують іномарки, переважно з ЄС, серед яких популярні Scania R, DAF XF, MAN TGS. Вживані вантажівки активно купуються через інтернет-платформи як AUTO.RIA, де доступне кредитування. Основна частка — це внутрішні перепродажі, але імпорт вживаних вантажівок з-за кордону значно зріс, склавши в окремі місяці понад 13% від загального обсягу.

У 2025 році сервісні центри МВС здійснили 2 195 320 реєстраційних дій з транспортними засобами. Дані опубліковано на сайті Головного сервісного центру МВС. Йдеться про реєстрацію та перереєстрацію легкових і вантажних автомобілів, мотоциклів, автобусів та іншого транспорту. Зокрема, це перша реєстрація нових і ввезених з-за кордону транспортних засобів, перереєстрація у разі зміни власника, оформлення лізингу тощо.

### **Список використаних джерел**

1. <https://skilky-skilky.info/u-2025-rotsi-477216-transportnykh-zasobiv-popovnyly-park-ukrainy/>
2. <https://epravda.com.ua/biznes/rinok-avtobusiv-v-ukrajini-2025-import-i-novi-modeli-zrosli-vnutrishniy-rinok-prosiv-817260/>
3. <https://eauto.org.ua/news/968-pidsumki-ukrajinskogo-avtorinku-2025-roku-u-chislah-infografika>

УДК 631.372:621.89

## ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ШИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

**В. Л. КУЛИКІВСЬКИЙ**, к.т.н., доц.,

**Р. С. БЕЛЯВСЬКИЙ**, здоб.,

**Р. С. ГАРМАНЧУК**, здоб.,

*Поліський національний університет, м. Житомир*

**А. В. ЗЕЛІНСЬКИЙ**, здоб.

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир*

*E-mail: kylikovskiyv@ukr.net*

Зношування шин аграрної техніки є критичною складовою експлуатаційних витрат і надійності машинно-тракторного парку, оскільки передчасна втрата висоти ґрунтозачепів та локальні пошкодження протектора знижують тягову ефективність, підвищують буксування й витрату палива, а також збільшують ризики простоїв у пікові періоди.

Актуальність проблеми посилюється тим, що сучасні господарства ширше використовують транспортні переміщення тракторів/самохідних агрегатів між полями та логістичними точками, а тверде покриття (особливо асфальт) є значно абразивнішим для аграрних протекторів, ніж ґрунт, формуючи прискорений знос у дорожніх режимах.

У практиці сільського господарства ресурс шини визначається не лише «кількістю гуми», а насамперед архітектурою каркаса/брекера, геометрією рисунка протектора та матеріалознавчими характеристиками сумішей (жорсткість, гістерезисні втрати, стійкість до порізів і вибивання). Саме тому в інженерній класифікації шин виділяють різні «коди протектора» і сфери застосування (наприклад, для ведучих коліс із регулярним протектором, для «cane and rice» з глибоким протектором, для флотаційного сервісу тощо), що відображає різний компроміс між тягою, самоочищенням і довговічністю.

Нормування розмірів, навантажень і тисків для агрошин спирається на стандартизацію «навантаження–тиск–швидкість» та типізацію застосувань.

Важливою сучасною тенденцією є застосування категорій IF/VF (Improved Flexion / Very High Flexion), які дозволяють працювати з нижчим тиском за того самого навантаження або переносити більше навантаження при тому самому тиску – за рахунок підвищеної гнучкості боковини та конструктивного посилення каркаса. У прикладних довідниках і маркуванні ці категорії часто інтерпретуються як приблизно +20% навантаження для IF і приблизно +40% для VF при однаковому тиску (або еквівалентне зниження тиску при сталому навантаженні).

Однак збільшена деформаційна здатність IF/VF у полі не означає, що «чим нижчий тиск – тим краще» у будь-якому режимі: підвищення швидкості

збільшує число циклів згину/розгину елементів шини і тепловиділення від гістерезису, а отже, накладає обмеження на мінімально допустимий тиск при транспортному режимі. Це прямо підкреслюється у технічних довідниках, де низький тиск пов'язують із перегрівом і прискореним зношуванням, якщо він не узгоджений зі швидкістю та навантаженням.

У сучасній трибологічній інтерпретації зношування протектора виділяють щонайменше три базові групи механізмів: cut-and-chip / абразивне вирізання та відколювання фрагментів гуми гострими нерівностями; втомне зношування, коли циклічні деформації спричиняють зародження і ріст тріщин з подальшим відривом частинок; хімічне зношування/старіння, пов'язане з окисненням, УФ та озоновими факторами, що змінюють властивості поверхневого шару й прискорюють руйнування під дією механічних напружень.

Дорожній режим (асфальт/бетон) для агрошини є принципово жорсткішим за контакт «шина–грунт»: контактні напруження більш концентровані, ковзання у плямі контакту на мікрорівні реалізується на абразивній текстурі покриття, а тепло від дисипації енергії відводиться гірше через меншу «пластичність» опорної поверхні. Саме тому виробничі рекомендації для агрошин регулярно наголошують, що інтенсивні дорожні пробіги прискорюють стирання протектора, особливо за неправильного тиску.

Польовий режим формує інший домінуючий профіль пошкоджень: при високому тяговому зусиллі і значному буксуванні відбувається сильне скручування та згинання ґрунтозачепів (lug contortion), що може призводити до заломів і тріщин у корені ґрунтозачепа та навіть до часткового відриву елементів протектора. Такі «втомно-зрізні» дефекти часто пов'язують із надмірним тяговим навантаженням на твердому ґрунті та неправильним узгодженням навантаження і тиску.

Окрема характерна для аграрного сектору група пошкоджень – стеблова стерня (stubble damage). Стерня може діяти як локальний «різальний інструмент», що спричиняє порізи/проколи протектора і боковини або поступове «викришування» (chipping) гуми при повторних контактах. У технічних оглядах виробників і галузевих медіа описано два типові сценарії:

- проникнення/порізи,
- - відколювання дрібних фрагментів протектора при багаторазовому контакті зі стернею.

Класичні «діагностичні» форми нерівномірного зношування (які у сільському господарстві часто накладаються на специфіку ґрунтозачепів) включають: центральне зношування як симптом завищеного тиску (центр плями контакту перевантажений), плечове зношування при заниженому тиску (плечові зони працюють у перевантаженому режимі з підвищеним нагріванням) та однобічне/асиметричне зношування, пов'язане з геометрією керування/сходженням або нерівномірним розподілом маси по осях.

Керування зношуванням агрошин найефективніше реалізується як поєднання інженерних та організаційних дій, де ціль – мінімізувати руйнівні

режими (перегрів, надмірне буксування, cut-and-chip) без втрати агротехнічної придатності.

Ключовим інструментом є керування тиском під режим. Концепція систем централізованого підкачування (CTIS) обґрунтовується тим, що «правильний тиск» одночасно зменшує тиск на ґрунт, знижує буксування і сприяє більш рівномірному зношуванню.

Вибір режиму тиску повинен бути пов'язаний із швидкістю та навантаженням: транспорт вимагає підвищення тиску порівняно з полем для зниження деформацій і тепловиділення, тоді як у полі нижчий тиск збільшує пляму контакту і може знижувати колійність та опір коченню, але лише в межах, допустимих для конкретного розміру й навантаження.

Другий базовий принцип – контроль буксування через коректне баластування, підбір передачі/швидкості та агрегування. Оскільки надмірне буксування асоціюється з інтенсифікацією зносу ґрунтозачепів і вищими енергетичними втратами. Практично доцільно підтримувати буксування в «раціональних» інтервалах, узгоджених із типом ґрунту та конфігурацією приводу.

Третій блок – профілактика нерівномірного зношування. Регулярна перевірка розвалу/сходження, справності елементів ходової частини, симетрії навантаження по лівому/правому борту, а також документований контроль стирання протектора з періодичністю, прив'язаною до техобслуговування. У національних рекомендаціях прямо вказується зв'язок між розподілом навантажень, технічним станом ходової частини та нерівномірним зносом, а також доцільність перестановки коліс для вирівнювання стирання.

Четвертий блок – управління «cut-and-chip» ризиками в полі, насамперед на стерні. Практики, що повторюються в галузевих рекомендаціях, включають механічне пригинання решток (стеблопригиначі/ролики), організацію траєкторій руху, а також підбір шин і рисунка протектора з урахуванням стійкості до порізів.

П'ятий блок – контроль старіння/хімічного впливу. Окиснення, УФ та озонові фактори є визнаними чинниками старіння шин, які знижують еластичність і сприяють тріщиноутворенню, особливо в поєднанні з циклічною деформацією та нагріванням. Тому до заходів подовження ресурсу належать правильні умови зберігання і уникнення контакту з агрохімікатами/нафтопродуктами, що можуть знімати захисні компоненти з поверхні гуми та прискорювати поверхневе старіння.

Специфіка зношування шин сільськогосподарської техніки визначається змішаним характером експлуатації та поєднанням різнорідних механізмів деградації: дорожнє стирання на твердих покриттях, втомно-зрізне руйнування ґрунтозачепів у високотягових режимах, а також локальні «cut-and-chip» пошкодження від стерні й твердих включень.

Найбільш ефективними важелями управління ресурсом є узгодження тиску накачування з навантаженням і швидкістю, контроль буксування та

системна профілактика нерівномірного зношування (геометрія коліс, технічний стан ходової частини, баланс навантаження). Ці фактори мають одночасний вплив і на ресурс шини, і на агротехнічні параметри (ущільнення ґрунту, колійність, енергетичну ефективність).

Системи керування тиском на кшталт CTIS та регулярний моніторинг параметрів «тиск–температура–знос протектора» формують практичну основу для переходу від «реактивної» заміни шин до превентивного управління їхнім життєвим циклом, що особливо важливо за високої вартості сучасних агрошин та зростання частки транспортних операцій.

УДК 656.615:656.073

## КОНЦЕПЦІЯ "СУХОГО ПОРТУ"

**М. В. ХОНЕНКО**, студент

**О. М. ЗАГУРСЬКИЙ**, д.е.н., професор,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: [makshon08041993@gmail.com](mailto:makshon08041993@gmail.com), [zagurskiy@nubip.edu.ua](mailto:zagurskiy@nubip.edu.ua)

Концепція "сухого порту" пропонується як сучасний механізм підвищення пропускну та переробної спроможності логістичної інфраструктури, що, в умовах блокування традиційних морських шляхів, забезпечує безперервність експорту. Фактично, "сухий порт" створює додаткові інфраструктурні потужності для перевантаження, зберігання та оформлення вантажів поза морськими терміналами. Впровадження цієї ідеї не лише забезпечує логістичну стійкість у воєнний час, але й створює фундамент для інтеграції українських логістичних систем у європейську мережу.

Термін «сухий порт» можна визначити, як мультимодальний логістичний центр із розвиненою наземною логістикою [2], що розташоване осторонь від морських шляхів і де виконується роботи з митного оформлення та контролю для міжнародної торгівлі. Характерними ознаками «сухих портів» є:

- збудований інтермодальний/мультимодальний термінал осторонь від морів;
- митне оформлення;
- розвинена наземна логістика;
- прийом вантажів з одного виду транспорту та їх перевантаження на інший вид транспорту;
- тимчасового зберігання вантажів та їх об'єднання в більші партії для подальшого перевезення;
- надання транспортно-експедиційних послуг;
- страхові, банківські та фінансові послуги.



«Сухі порти» мають свої переваги та недоліки (табл. 1).

Таблиця 1 Переваги та недоліки «сухого порту»

| Переваги                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Недоліки                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- розвиток альтернативних шляхів;</li> <li>- створення нових робочих місць, залучення кваліфікованих робітників;</li> <li>- географічне розташування, оптимізує доступ суб'єктів господарювання до експорту;</li> <li>- розвиток регіону;</li> <li>- основний вид транспорту – залізничний, що зменшує вплив на навколишнє середовище та розвантажують дороги;</li> <li>- незалежність від погодних умов;</li> <li>- широкий спектр вантажів.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- вимагає великих початкових вкладень;</li> <li>- вимагає високого рівня координації з наземним транспортом;</li> <li>- обмежена вантажопідйомність залізничного потягу у порівнянні з морським судном;</li> <li>- висока конкуренція з морськими портами.</li> </ul> |

Розбудова такого «сухого порту» біля західних кордонів України може вирішити питання у різниці ширини української колії (1520 мм) та вузької європейської (1435 мм) та забезпечити ефективне та швидке перевантаження сільськогосподарських товарів між ними, що відкриває українським сільськогосподарським виробникам шлях до європейського ринку[3].

Проектування "сухого порту" має бути в першу чергу орієнтоване на основну продукцію експорту компанії – зернові та олійні вантажі. На рисунку 1 представлено варіант схеми побудови такого «сухого порту».

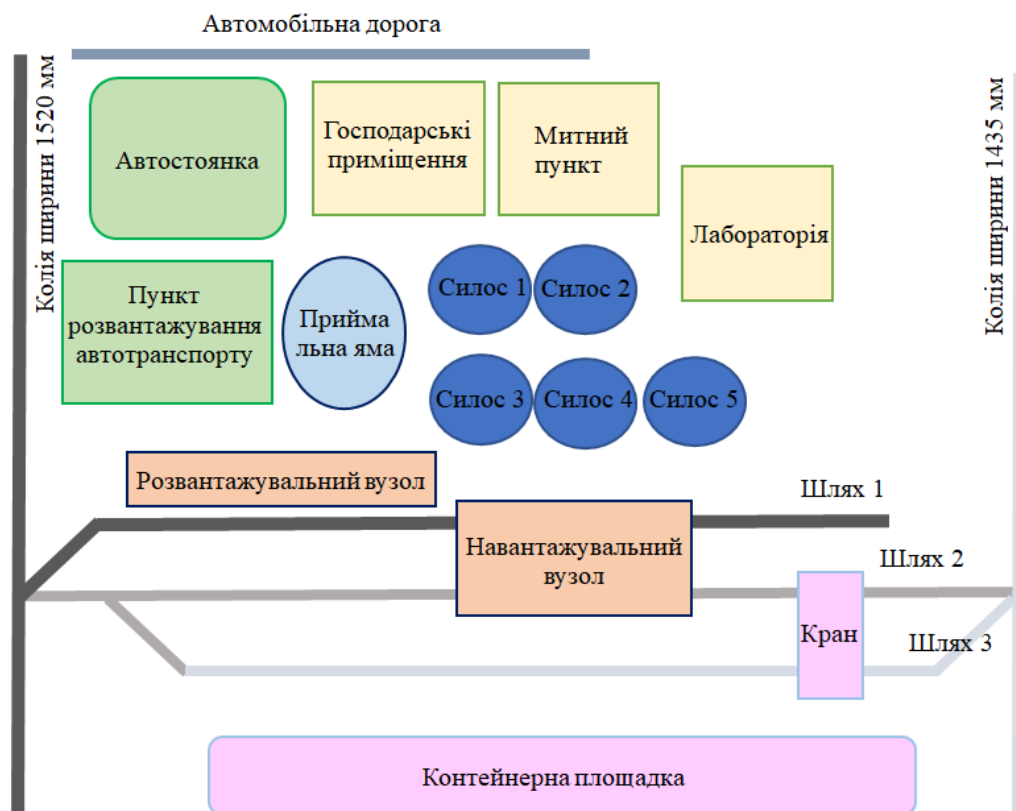


Рис. 1 Варіант схеми побудови «сухого порту».

Розташування «сухого порту» є критичним чинником його операційної ефективності. З огляду на орієнтацію експорту залізничним транспортом, необхідно забезпечити, щоб місце розміщення терміналу дозволяло формування партій та завантаження рухомого складу на коліях європейського стандарту (1435 мм). Це дозволить мінімізувати логістичні витрати, пов'язані з необхідністю повторного перевантаження вантажу або заміни колісних пар на прикордонних переходах.

Схема «сухого порту» передбачає обов'язкове розміщення та функціонування митного пункту, а також виділення зони митного контролю. Це необхідно для здійснення всіх митних формальностей, пов'язаних з експортними вантажами.

Згідно з дослідженням «Київської школи економіки», реалізація проекту «сухого порту» із потужністю зберігання 20 тис. тонн потребує інвестицій у розмірі \$12,55 млн та займе два роки на будівництво. Експертний прогноз рентабельності високий: очікувана середня рентабельність чистого прибутку становить 38%, а рентабельність за показником EBITDA – 58%. [1]

Додаткові джерела доходу від функціонування «сухого порту» можуть бути отримані завдяки його технологічних та сервісних функцій. Зокрема, це надання послуг лабораторного контролю, виконання робіт із доведення зернових до необхідної якості (сушіння, очищення), а також надання транспортно-експедиторських та брокерських послуг.

### **Список використаних джерел**

1. Термін окупності сухого порту на кордоні з Польщею становить п'ять років – дослідження KSE. URL <https://landlord.ua/news/termin-okupnosti-sukhoho-portu-na-kordoni-z-polshcheiu-stanovyt-p-iat-rokiv-doslidzhennia-kse>
2. Matsiuk, V., Opalko, V., Savchenko, L., Zagurskiy, O., & Matsiuk, N. (2023). Optimisation of transport and technological system parameters of an agricultural enterprise in conditions of partial uncertainty. *Machinery & Energetics*, 14(3), 61-71. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.61>
3. Pokusa M., Ohienko M., Zagurskiy O. et al., Logistics in conditions of uncertainty. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2024; ISBN 978-83-66567-62-7; 290.

УДК 656.055.9:351.811

## ДЕРЕВ'ЯНІ ДОРОЖНІ ЗНАКИ ЯК ЧАСТИНА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

**М. В. КОРИНЧУК**, студентка, **І. О. КОЛОСОК**, к.пед.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Останніми роками деякі країни почали впроваджувати дерев'яні дорожні знаки як частину стратегії сталого розвитку.

Дерев'яні дорожні знаки: екологічна альтернатива металу.

Причини застосування:

- екологічність: виробництво дерев'яних знаків спричиняє менше викидів CO<sup>2</sup>, ніж алюмінієвих;
- відновлюваність: деревина (тополя, береза) – відновлюваний ресурс, на відміну від металів;
- компостування: після завершення терміну служби дерев'яні знаки можна утилізувати екологічно – спалити або компостувати.
- довговічність: завдяки термічній обробці деревина витримує до 20 років експлуатації;
- візуальна ідентичність: зовні вони майже не відрізняються від металевих, лише мають іншу текстуру поверхні;
- естетика та локальний колорит – органічно виглядають на тлі природи або старовинної архітектури;
- місцеві ініціативи – часто встановлюються з ініціативи місцевих громад або муніципалітетів, а не центральних органів влади.

Недоліки:

- ціна: один знак коштує близько 100 євро, що вдвічі дорожче, ніж алюмінієвий аналог;
- обмежене поширення: поки що це пілотні проєкти, які не охоплюють усі дороги.

Дерев'яні дорожні знаки в Австрії – це цікаве явище, яке пов'язане в основному з традицією, екологічним підходом і локальною ідентичністю, особливо в сільських і гірських регіонах.

Де зустрічаються дерев'яні дорожні знаки:

- альпійські села і природні парки: в таких місцях часто використовують дерев'яні знаки, щоб вони краще вписувалися в навколишній ландшафт;
- туристичні маршрути: на вело- та пішохідних стежках, у гірських районах, а також на культурних маршрутах можна побачити вказівники, виконані з дерева;
- історичні села та архітектурні заповідники: там дерев'яні знаки підкреслюють традиційний вигляд поселень.

Найяскравішим прикладом є Австрія, зокрема Відень (рис. 1) [1].



Рис. 1. Відень. Площа Крістіан-Брода-Плац

Загалом встановлено 46 екологічних дорожніх знаків. Для їх виробництва використовується деревина тополі або берези з Центральної Європи. Вони зроблені таким чином, що їх можна монтувати на звичайні стійки. Візуально вони відрізняються лише поверхнею, що відбиває.

Австрія – піонер у використанні дерев'яних знаків. Перші з них з'явилися ще у 2021 році, а з 2024 року активно встановлюються у Відні та інших регіонах, як-от Гард комуна в Австрії, у федеральній землі Форарльберг. Дерев'яні дорожні знаки в Австрії поєднують в собі інновацію, екологічність та естетику. Схожі рішення активно застосовуються в Центральній Європі, особливо для туристичних маршрутів та велосипедної інфраструктури.

#### Список використаних джерел

1. У Відні почали встановлювати дерев'яні дорожні знаки. URL: [https://cfts.org.ua/news/2024/11/20/u\\_vidni\\_pochali\\_vstanovlyuvati\\_derevyani\\_dorozhni\\_znaki\\_foto\\_81163](https://cfts.org.ua/news/2024/11/20/u_vidni_pochali_vstanovlyuvati_derevyani_dorozhni_znaki_foto_81163)

УДК 656.11:629.067 -049.5(477)

### СТРАТЕГІЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ДЛЯ УКРАЇНИ

**А. С. КРАВЧУК**, студентка, **І. О. КОЛОСОК**, к.пед.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

За даними Національної поліції України, у 2024 році в дорожньо-транспортних пригодах в Україні загинуло понад 3300 людей. За даними Державної служби транспортної безпеки України, кількість усіх аварій за

участю ліцензованих перевезень (автобусів і вантажівок) зросла майже на 25% у 2024 році порівняно з 2023 роком.

Виклики безпеки дорожнього руху в Україні вимагають стратегії, заснованої на дослідженнях, обґрунтованих даних, для зменшення смертей і серйозних травм на дорогах, а також підвищення мобільності. Під час відновлення країни критично важливими є модернізація інфраструктури, покращення контролю та інтеграція нових технологій [2]. Міжнародний транспортний форум (ITF) – міжнародна організація, що об'єднує 69 країн, розпочинає проєкт з розробки десятирічної національної стратегії з безпеки дорожнього руху для України. Очікується, що її реалізація дозволить запобігти смертям та травмуванню українців на дорогах. Цей проєкт має на меті розробити 10-річну стратегію безпеки дорожнього руху, забезпечуючи адаптивну, засновану на доказах політику [1].

Нова Національна стратегія безпеки дорожнього руху буде реалізовуватися через спільну групу інтересів ITF з питань транспорту в Україні (SIG4U) разом із благодійною організацією з безпеки дорожнього руху EASST. На основі підходу Safe System Approach (підхід «Безпечна система») він закладе основу для значного зменшення кількості смертей на дорогах протягом наступного десятиліття. Підхід базується на прийнятті рішень на основі даних та спільній відповідальності між державними установами та суспільством.

Стратегія буде безпосередньо пов'язана з Національною транспортною стратегією України до 2030 року, визначаючи безпеку дорожнього руху як ключовий фактор сталого соціально-економічного розвитку та національної реконструкції. Реалізація Національної стратегії безпеки дорожнього руху запланована на 2026 рік.

Цей проєкт є частиною ширшої ініціативи ITF щодо задоволення довгострокових потреб України через цільові дослідження: Програма досліджень Групи спільних інтересів для України (SIG4U). Реалізуються й інші проєкти, зокрема розробка сталих шляхів для наземного пасажирського, авіаційного та морського секторів.

У Мінрозвитку пояснили, що цей підхід передбачає ухвалення рішень на основі даних, а також спільну відповідальність державних інституцій і суспільства.

Окремим пріоритетом стане безбар'єрність – забезпечення доступу до роботи, освіти, медицини та інших послуг для людей з обмеженою мобільністю завдяки сучасній, зручній та безбар'єрній транспортній інфраструктурі [1].

Дорожня карта для досягнення цих амбітних цілей передбачає співпрацю з міжнародними партнерами та експертами. Це гарантує, що прийняті заходи базуються на успішних стратегіях, впроваджених в інших країнах.

Це включає інвестиції у проєктування доріг, кампанії з підвищення обізнаності громадськості та впровадження нових технологій для моніторингу та управління рухом. Мета полягає у формуванні культури безпеки та відповідальності серед водіїв, пішоходів і велосипедистів.



### Список використаних джерел

1. Міжнародний транспортний форум розробить для України 10-річну стратегію з безпеки на дорогах: що відомо. URL: <https://suspilne.media/1121846-miznarodnij-transportnij-forum-rozrobit-dla-ukraini-10-ricnu-strategiu-z-bezpeki-na-dorogah-so-vidomo/>
2. Development of Ukraine's 10-Year Road Safety Strategy. URL: <https://itf-oecd.org/development-ukraine%E2%80%99s-10-year-road-safety-strategy#:~:text=This%20project%20aims%20to%20elaborate%20a%2010-year%20road,%28CIG4U%29%2C%20together%20with%20the%20road%20safety%20charity%20EASST.>

УДК 656.11:343.346.2

### НОВА СИСТЕМА ПОКАРАНЬ ДЛЯ ВОДІЇВ

**А. М. ГУТНІК**, студентка, **І. О. КОЛОСОК**, к.пед.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: kolosok@nubip.edu.ua

Верховна Рада України у жовтні 2025 року зареєструвала законопроект №14133, що пропонує докорінно змінити підхід до системи покарань для водіїв – насамперед шляхом повернення механізму штрафних балів за порушення ПДР. Реформа має на меті не лише посилити дисципліну на дорогах, а й забезпечити системне відстеження рецидивістів серед водіїв, знизити аварійність і гармонізувати регуляторіку з європейськими стандартами.

Ініціаторами виступили народні депутати. Вже 22 жовтня проєкт було передано на розгляд профільного комітету. За задумом авторів, нова система має підвищити дисципліну водіїв і зменшити кількість повторних правопорушень. Крім звичних грошових штрафів, до водіїв застосовуватимуться штрафні бали, кількість яких залежатиме від тяжкості порушення [1].

Законопроект пропонує встановити градацію відповідальності:

- 1 бал – за незначні порушення, пов'язані з технічним станом авто чи дрібними недотриманнями ПДР;
- 2 бали – за порушення середньої тяжкості, зокрема перевищення швидкості чи недотримання вимог знаків і розмітки;
- 3 бали – за більш серйозні проступки, наприклад, грубе перевищення швидкості;
- 4 бали – за порушення, що призвели до ДТП без потерпілих чи керування без необхідних документів;
- 5 балів – за найбільш небезпечні дії, які створюють реальну загрозу

безпеці на дорозі [2].

Нова шкала передбачає різну суворість для порушень:

- перевищення швидкості: залежно від ступеня – 1, 2, 3 або 4 бали, грошові штрафи – від 340 до 3400 грн.;
- проїзд на червоне світло, ігнорування знаків, порушення паркування – 1–3 бали;
- осіб, що регулярно порушують і накопичують бали, тимчасово позбавляють права керувати (пропонують кардинальні зміни для «системних порушників»).

Бали накопичуються протягом 365 днів. Через рік після нарахування вони анулюються, якщо за цей час водій не отримав нових.

Якщо протягом року водій набирає 15 балів або більше, його посвідчення тимчасово зупиняється рішенням Національної поліції. Для новачків, які отримали права менше ніж рік тому, поріг нижчий – 10 балів.

Законопроект орієнтований на практики ЄС: у країнах Європи система штрафних балів є основним інструментом боротьби зі злісними порушниками ПДР. Автори наголошують, що звичайні штрафи не працюють для тих, хто ігнорує правила системно, а система балів:

- дає стримувальний ефект, навіть якщо штрафи регулярно сплачуються;
- дозволяє контролювати підвищену ризиковість на дорогах;
- спрощує аналіз і статистику правопорушень.

Розробники законопроекту вважають, що система штрафних балів допоможе створити ефективніший механізм контролю за поведінкою водіїв і запобігти повторним порушенням. Вона також може стати додатковим інструментом виховання відповідального ставлення до правил дорожнього руху [2].

### **Список використаних джерел**

1. Проект Закону про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення та інших законодавчих актів України щодо підвищення безпеки дорожнього руху шляхом запровадження системи штрафних балів. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/57678>

2. У Верховній Раді пропонують ввести систему штрафних балів для водіїв. URL: <https://autogid.pro/events/u-verhovnij-radi-proponuyut-vvesty-systemu-shtrafnyh-baliv-dlya-vodiyiv/>

УДК 656.11:629.047(477)

## АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА АВАРІЙНОСТІ ЗА 9 МІСЯЦІВ 2025 РОКУ В УКРАЇНІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

**М. С. КЛІМОВ**, студент, **І. О. КОЛОСОК**, к.пед.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
E-mail: kolosok@nubip.edu.ua

Згідно статистичних даних протягом 9 місяців 2025 року на автошляхах України сталося 2606 дорожньо-транспортних пригод за участю ліцензованого автомобільного транспорту, який надає послуги з перевезення пасажирів, небезпечних вантажів та небезпечних відходів, міжнародних перевезень пасажирів та вантажів, в яких 142 особи загинули та 1089 осіб отримали травми (рис. 1).

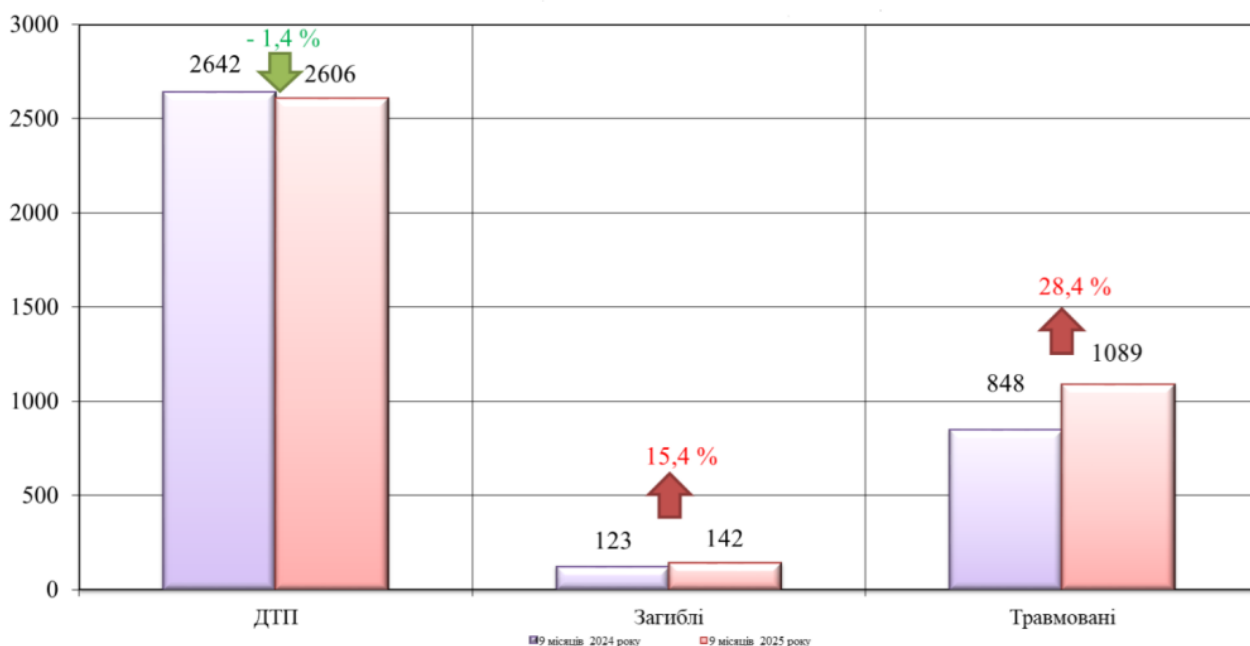


Рис. 1. Порівняння загальної кількості ДТП за участю водіїв ліцензованого автомобільного транспорту

Порівнюючи абсолютні показники аварійності на ліцензованому автомобільному транспорті видно, що за 9 місяців 2025 рік кількість ДТП за участю транспортних засобів ліцензованих автомобільних автоперевізників зменшилась, у порівнянні з відповідним періодом 2024 року, на 1,4 % (з 2642 до 2606 ДТП). Спостерігається збільшення тяжкості наслідків від ДТП, кількість загиблих осіб за участю водіїв ліцензованого транспорту збільшилась на 15,4 % (з 123 до 142 осіб). Так, з 142 осіб, які загинули в результаті настання ДТП, 59 осіб загинули в результаті настання ДТП з вини водіїв ліцензованого

транспорту. Кількість травмованих осіб за участю водіїв ліцензованого транспорту збільшилась на 28,4 % (з 848 до 1089 осіб).

Із зазначеної кількості ДТП з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту за вказаний період сталося 1648 дорожньо-транспортних пригод, в яких 59 осіб загинули, а 630 осіб отримали травми різного ступеня тяжкості.

За аналогічний період 2024 року на автодорогах України з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту допущено 1660 дорожньо-транспортних пригод, в яких 45 осіб загинули та 473 особи отримали травми.

Таким чином рівень аварійності з вини водіїв ліцензованого автомобільного транспорту зменшився на 0,7 %, кількість загиблих у ДТП осіб збільшилась на 31,1%, кількість травмованих збільшилась на 33,2%.

З вини водіїв автобусів за 9 місяців 2025 року сталося 538 дорожньо-транспортних пригод, в яких 20 осіб загинули та 467 осіб отримали травми. За 9 місяців 2024 року сталося 727 дорожньо-транспортних пригод, у яких 16 осіб загинули та 345 особи отримали травми.

З вини водіїв вантажних автомобілів за 9 місяців 2025 року сталося 1066 дорожньо-транспортних пригод, в яких 30 осіб загинули та 120 осіб отримали травми. За 9 місяців 2024 року сталося 916 дорожньо-транспортних пригод, в яких 27 осіб загинули та 102 особи отримали травми.

З вини водіїв легкових автомобілів (таксі) за 9 місяців 2025 року сталося 44 дорожньо-транспортні пригоди, в яких 9 осіб загинули та 43 особи отримали травми. За 9 місяців 2024 року сталося 17 дорожньо-транспортних пригод, в яких теж 2 особи загинули, та 26 осіб отримали травми (рис. 2).

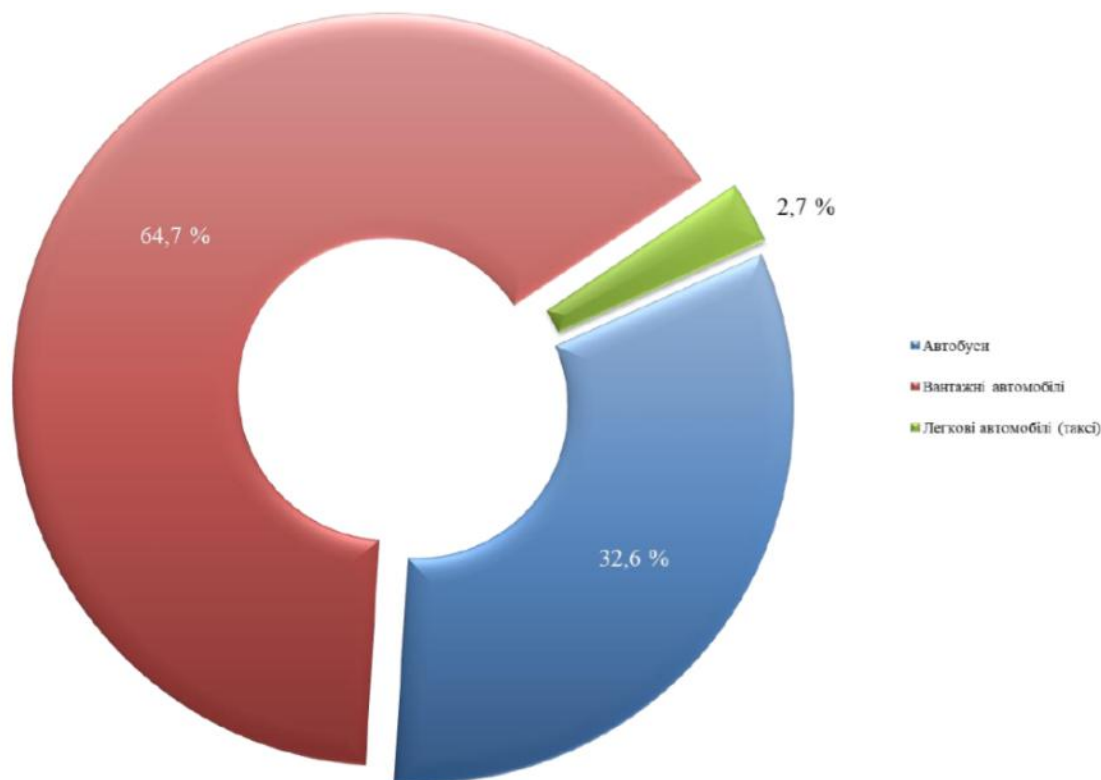


Рис. 2. Відсоткове співвідношення кількості ДТП з вини водіїв

Проведений аналіз аварійності показав, що основними причинами настання цих дорожньо-транспортних пригод є:

- порушення правил маневрування (33,0 %);
- недотримання дистанції та інтервалу руху (30,4 %);
- перевищення швидкості руху (28,9 %);
- порушення правил проїзду перехресть (3,2 %);
- порушення правил обгону та/або виїзду на смугу зустрічного руху (2,1 %);
- експлуатація технічно несправних транспортних засобів (1,1 %);
- порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту (0,7 %);
- керування у нетверезому стані (0,4 %);
- сон за кермом (0,1 %);
- порушення правил проїзду залізничних переїздів (0,1 %).

Залежно від пори доби, найбільша кількість ДТП сталася в денну пору доби, з 10 год. 00 хв. до 17 год. 00 хв., а саме в цей проміжок часу було зафіксовано 47,5 %; у вечірню пору доби з 17 год. 00 хв. до 22 год. 00 хв. сталася 25,7 % ДТП; у ранкову пору доби з 05 год. 00 хв. до 10 год. 00 хв. сталася 18,6 % ДТП; у нічний час з 22 год. 00 хв. вечора до 05 год. 00 хв. ранку зафіксовано 8,2 % випадків ДТП [1].

#### **Список використаних джерел**

1. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 9 місяців 2025 року. URL: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/analiz-stanu-bezpeky-rukhu-ta-avariinosti-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-9-misiatsiv-2025-roku>

**УДК 656.4.08(477)**

### **АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА АВАРІЙНОСТІ ЗА 9 МІСЯЦІВ 2025 РОКУ В УКРАЇНІ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

**К. І. БОЛІБОК**, студент, **І. О. КОЛОСОК**, к.пед.н., доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*  
*E-mail: kolosok@nubip.edu.ua*

Згідно зі статистичними даними протягом 9 місяців 2025 року за участю трамвайних вагонів і тролейбусів підприємств міського електричного транспорту сталася 390 ДТП, в яких 8 осіб загинули та 92 особи отримали травми.

За 9 місяців 2024 року на цьому виді транспорту сталася 564 ДТП за



участю трамвайних вагонів і тролейбусів підприємств міського електричного транспорту, в яких 7 осіб загинули та 138 осіб отримали травми (рис. 1).

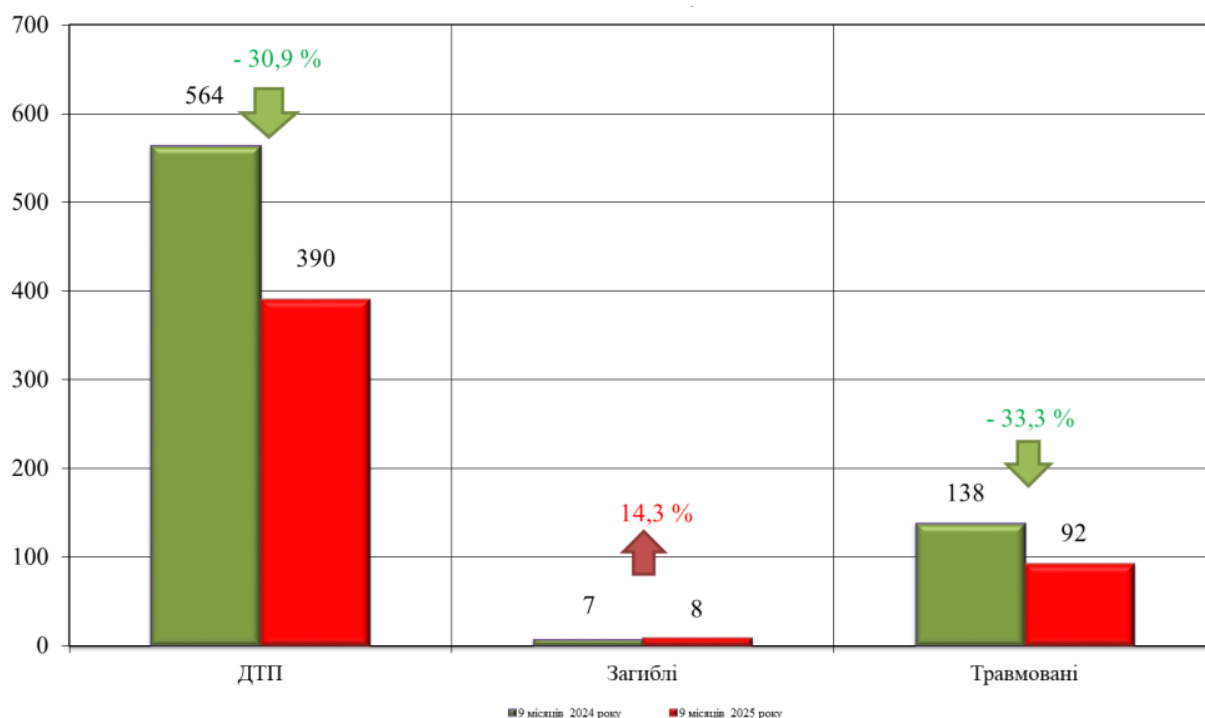


Рис. 1. Показники аварійності за участю водіїв міського електричного транспорту

Тобто, порівнюючи абсолютні показники аварійності на міському електричному транспорті видно, що за 9 місяців 2025 року кількість ДТП за участю транспортних засобів підприємств міського електричного транспорту зменшилась на 30,9 % у порівнянні з відповідним періодом 2024 року, кількість загиблих осіб збільшилась на 14,3 %, а кількість травмованих осіб зменшилась на 33,3 %.

При цьому, за 9 місяців 2025 року з вини водіїв рухомого складу міського електричного транспорту сталося 141 ДТП, в яких 1 особа загинула та 26 осіб отримали травми, тоді як за 9 місяців 2024 року з вини таких водіїв сталося 228 ДТП, в яких 2 особи загинули та 68 осіб отримали травми.

Протягом 9 місяців 2025 року з вини водіїв рухомого складу міського електричного транспорту кількість ДТП зменшилась на 38,2 %, кількість загиблих осіб в результаті цих ДТП зменшилась на 50 %, та кількість травмованих осіб зменшилась на 61,8 %.

Якщо розподілити всі транспортні засоби міського електричного транспорту за видами, то з вини водіїв тролейбусів за 9 місяців 2025 року допущено 112 ДТП, що на 34,5 % менше від кількості ДТП, допущених водіями тролейбусів за 9 місяців 2024 року. У цих ДТП кількість загиблих зменшилася на 50 %, а саме 1 особа проти 2 загиблих осіб, та отримали травми 17 осіб, проти 52 осіб, що на 67,3 % менше ніж у відповідному періоді 2024 року.

При цьому, з вини водіїв трамвайних вагонів за 9 місяців 2025 року допущено 29 ДТП, що на 49,1 % менше від кількості ДТП, допущених водіями трамвайних вагонів у відповідному періоді 2024 року. У цих ДТП жодної особи не загинуло та отримали травми 9 осіб проти 16 травмованих, що на 43,8 % менше ніж у відповідному періоді 2024 року.

Також за 9 місяців 2025 року на рухомому складі міського електричного транспорту сталася 1 пожежа.

Аналіз аварійності за видами ДТП засвідчив, що найбільша кількість ДТП на міському електричному транспорті – 35,5 % зафіксовані бокові зіткнення транспортних засобів; у 34,1 % ДТП становлять попутні зіткнення; 8,2 % ДТП становлять наїзди на перешкоду; 6,7 % ДТП становлять наїзди на транспортний засіб, що стоїть; 5,9 % ДТП становлять падіння пасажирів; 5,2 % ДТП становлять зустрічні зіткнення транспортних засобів; 4,4 % ДТП становлять наїзди на пішоходів (рис. 2).

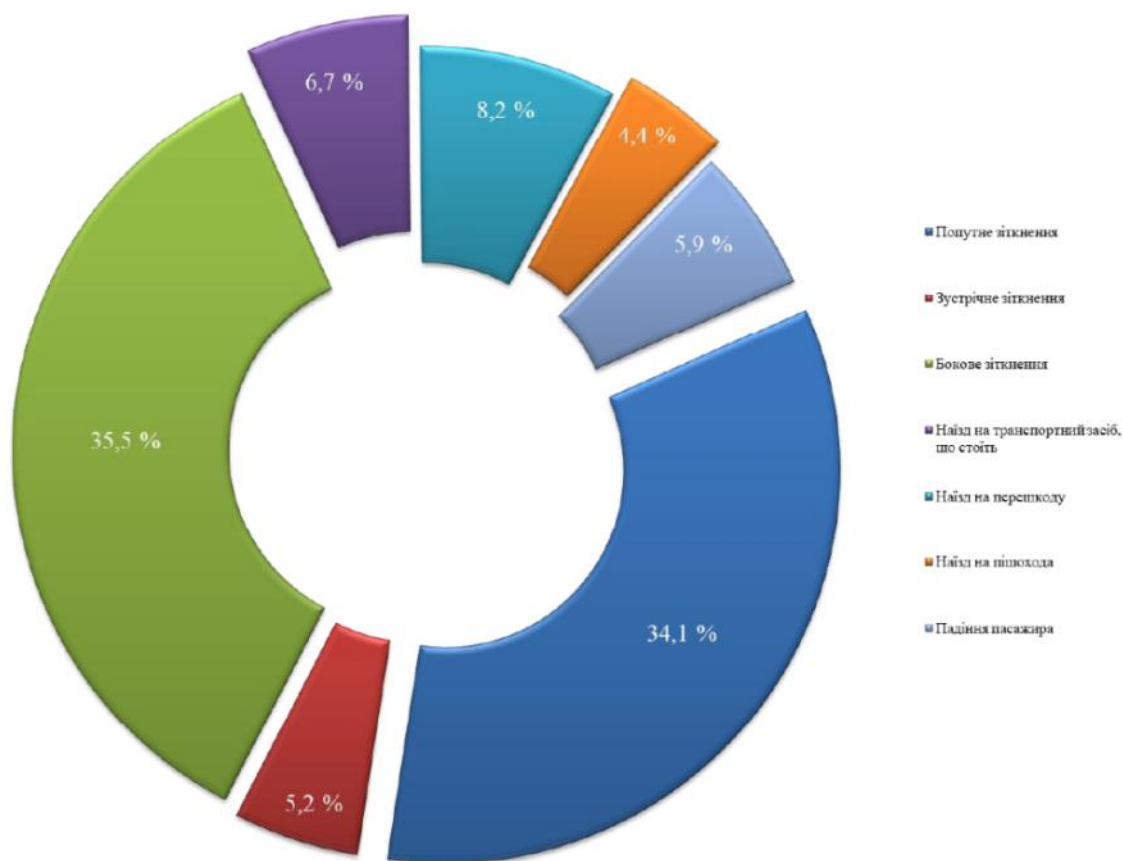


Рис. 2. Класифікація ДТП за видами події

Проведений аналіз аварійності показав, що основними причинами настання цих дорожньо-транспортних пригод є:

- недотримання дистанції та інтервалу руху (42,6 %);
- перевищення швидкості руху (26,5 %);
- порушення правил маневрування (18,4 %);

- експлуатація технічно несправних транспортних засобів (5,9 %);
- порушення правил проїзду перехресть (4,4 %);
- порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту (1,5 %);
- падіння струмоприймачів (0,7 %).

Залежно від пори доби, найбільша кількість ДТП сталася в денну пору доби, з 10 год. 00 хв. до 17 год. 00 хв., а саме в цей проміжок часу було зафіксовано 59,6 % ДТП; у ранкову пору доби з 05 год. 00 хв. до 10 год. 00 хв. сталося 19,2 % ДТП; у вечірню пору доби з 17 год. 00 хв. до 22 год. 00 хв. сталося 18,4 % ДТП; у нічну пору доби з 22 год. 00 хв. до 05 год. 00 хв. сталося 2,8 % ДТП [1].

### **Список використаних джерел**

1. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 9 місяців 2025 року. URL: <https://dsbt.gov.ua/diialnist/bezpeka-na-transporti/analiz-stanu-bezpeky-rukhu-ta-avariinosti-na-nazemnomu-transporti-v-ukraini-za-9-misiatsiv-2025-roku>

**УДК: 631.356.2:633.63**

## **ОСНОВНІ РИЗИКИ В ТРАНСПОРТНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**О. А. ДЬОМІН**, д. пед. н., доцент

**Є. Д. СОТНИК**, студент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [domin@nubip.edu.ua](mailto:domin@nubip.edu.ua)*

Цукровий буряк є однієї із стратегічних культур України. Особливо важким технологічним процесом є збирання цукрових буряків. Через постійно стислі строки означеного збирання для збирання цукрового буряку в Україні застосовують такі технології: потокова, перевалочна, потоково-перевалочна і в деяких випадках перевантажувальна. Технології збирання цукрового буряка супроводжується часто з несприятливими погодними умовами. Тому для ефективного транспортного забезпечення збиральних робіт потрібно обов'язково враховувати ризики які при цьому виникають.

Основні ризики в транспортному забезпеченні збирання цукрових буряків включають: простой техніки через неузгодженість графіків збирання та вивезення, втрати врожаю (зниження цукристості) через несвоєчасне транспортування, механічні пошкодження коренеплодів, високі витрати палива та складнощі з доступом техніки до полів, особливо в дощову погоду.

Слід окремо виділити наступні основні ризики:

- *логістичні простой*: неузгодженість між темпами роботи комбайнів та кількістю транспортних засобів для технологічних перевезень врожаю. Це призводить до простоїв збиральної техніки та затримок у завантаженні;
- *втрати цукристості*: тривале зберігання викопаних буряків на полі (затримка вивезення) веде до в'янення та гниття, що зменшує загальну цукристість коренеплодів;
- *несприятливі погодні умови*: дощі ускладнюють проїзд техніки по ґрунтових дорогах, що спричиняє застрягання, збільшує витрати палива та унеможливорює чітке дотримання агротермінів збиральних робіт;
- *механічні пошкодження коренеплодів*: неправильне завантаження (розвантаження) або невідповідний транспорт можуть призвести до пошкодження буряків, що значно знижує їх якість для переробки.
- *техніка безпеки для робітників*: ризики травматизму при маневруванні транспорту біля комбайнів (необхідна дистанція 1,5–2 м).
- *повнота використання вантажопідйомності транспортних засобів*: недовантаження або перевантаження транспортних засобів відчутно впливає на рентабельність технологічних перевезень врожаю цукрових буряків.

Для мінімізації ризиків важливо чітко дотримуватися графіків викопування та вивезення врожаю, а також забезпечувати своєчасне очищення техніки.

УДК 629.33:519.85:656.073

## МІНІМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПАЛИВА У ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З НАВАНТАЖНО-ЗАЛЕЖНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ СПОЖИВАННЯ

Л. А. САВЧЕНКО, к.т.н., доцент  
Національний університет біоресурсів та природокористування України  
E-mail: [lilya\\_savchenko@nubip.edu.ua](mailto:lilya_savchenko@nubip.edu.ua)

Витрати на паливо становлять 30-40 % загальних операційних витрат вантажних автотранспортних підприємств і безпосередньо впливають на їх конкурентоспроможність. Класична задача маршрутизації транспортних засобів (CVRP) мінімізує сумарний пробіг, однак не враховує залежність питомих витрат палива від змінної маси вантажу. У роботі розглядається розширена постановка - FCVRP (Fuel Consumption Rate VRP), де цільова функція безпосередньо мінімізує обсяг спожитого пального [1].

Нехай  $G = (V, A)$  - повний орієнтований граф:  $V = \{0, 1, \dots, n\}$ , де 0 - депо,  $1 \dots n$  - клієнти;  $A$  - множина дуг. Кожен клієнт  $i$  має попит  $d_i > 0$ . Парк

складається з  $K$  однотипних транспортних засобів вантажопідйомністю  $C$ . Цільова функція задачі FCVRP:

$$F = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in R_k} \alpha(Q_{ij}^k) \cdot d_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

де  $\alpha(Q)$  - питомі витрати палива [л/км] як функція повної маси  $Q$ ;  $d_{ij}$  - відстань між вузлами  $i$  та  $j$  [км];  $Q_{ij}^k$  - маса транспортного засобу разом із залишком вантажу під час руху по дузі  $(i, j)$  на маршруті  $k$  [т].

На підставі статистичних даних експлуатації вантажівок класу 5–10 т встановлено лінійну залежність питомих витрат від повної маси [2]:

$$\alpha(Q) = \alpha_0 + \beta \cdot Q, \quad (2)$$

де  $\alpha_0 = 0,21$  л/км - витрати порожнього транспортного засобу;  $\beta = 0,019$  л/(км·т) - коефіцієнт зростання витрат на одиницю маси;  $Q = w + q$  - сумарна маса (власна  $w$  плюс залишок вантажу  $q$ ) [т]. Збільшення корисного навантаження на 1 т підвищує питомі витрати в середньому на 1,9 %, що робить врахування цього чинника обов'язковим.

Для розв'язання задачі FCVRP запропоновано модифікований генетичний алгоритм (GA) із ранговим турнірним відбором та адаптивним оператором мутації. Після кожної генерації виконується локальне вдосконалення маршрутів оператором 2-opt. Алгоритм тестувався на стандартних бенчмарках E-n22-k4, E-n33-k4 та E-n51-k5 з відкритої бази VRP [3].

Відносне скорочення витрат палива порівняно з рішенням задачі CVRP (мінімізація пробігу) оцінюється за формулою:

$$\Delta F = (F_{CVRP} - F_{FCVRP}) / F_{CVRP} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

Обчислювальні експерименти підтвердили, що модель FCVRP забезпечує скорочення витрат палива на 12-19 % ( $\Delta F$ ) відносно CVRP-рішення на тих самих наборах клієнтів. Водночас кількість транспортних засобів залишається незмінною, а коефіцієнт використання вантажопідйомності зростає з 0,73 до 0,89. Отримані результати узгоджуються з даними незалежних досліджень [4], де аналогічний підхід дав економію 14–21 % для міських маршрутів малого та середнього масштабу.

Таким чином, застосування моделі FCVRP з навантажно-залежним коефіцієнтом споживання палива дозволяє суттєво підвищити економічну ефективність вантажних перевезень без збільшення парку. Перевагою підходу є можливість безпосередньої інтеграції з бортовими телематичними системами, що передають дані про масу вантажу в режимі реального часу, та хмарними платформами диспетчеризації.

### Список використаних джерел

1. Xiao Y., Zhao Q., Kaku I., Xu Y. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 2012. Vol. 39, No. 7. P. 1419–1431. DOI: 10.1016/j.cor.2011.08.013.



2. Lin J., Zhou W., Wolfson O. Electric vehicle routing problem. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 12. P. 508–521. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.007.
3. Pak Y. J., Mun K. H. A practical vehicle routing problem in small and medium cities for fuel consumption minimization. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2024. Vol. 10. Art. 100137. DOI: 10.1016/j.clscn.2024.100137.
4. Utama D. M., Yurifah A., Garside A. K. A novel hybrid spotted hyena optimizer for fuel consumption capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Technology*. 2023. Vol. 14, No. 5. P. 1049–1059. DOI: 10.14716/ijtech.v14i5.6414.
5. Konstantakopoulos G. D., Gayialis S. P., Kechagias E. P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. *Operational Research*. 2022. Vol. 22. P. 2033–2062. DOI: 10.1007/s12351-020-00600-7.

УДК 656.073.7:004.896:519.87

## ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» В УМОВАХ МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ

Л. А. САВЧЕНКО, к.т.н., доцент

Національний університет біоресурсів та природокористування України

E-mail: [lilya\\_savchenko@nubip.edu.ua](mailto:lilya_savchenko@nubip.edu.ua)

Сегмент доставки «остання миля» (last-mile delivery, LMD) формує до 53% сукупної вартості всього логістичного ланцюга і водночас є найбільш непередбачуваною його ланкою: пробки, відмови від отримання, динамічний попит — все це руйнує статичні плани маршрутизації. Традиційні підходи до планування рейсів, засновані на фіксованих часових вікнах і детермінованих матрицях відстаней, втрачають релевантність у реальному міському середовищі. Саме тому концепція цифрового двійника (Digital Twin, DT) транспортної мережі - кіберфізичного дзеркала фізичної інфраструктури - розглядається як перспективна платформа для адаптивного управління LMD [1].

Метою роботи є розроблення концептуальної архітектури системи оптимізації LMD на базі цифрового двійника міської транспортної мережі, що інтегрує IoT-потіки реального часу, прогностичну аналітику на основі згорткових нейронних мереж (CNN) та динамічну маршрутизацію з кіберфізичним зворотним зв'язком. На відміну від існуючих систем, де IoT,

штучний інтелект та симуляція функціонують ізольовано [2], пропонована архітектура об'єднує ці компоненти в єдину петлю управління.

Запропонована система складається з трьох взаємопов'язаних рівнів: (1) рівень збору даних — IoT-датчики на транспортних засобах, розумних поштових скриньках і вуличній інфраструктурі фіксують місцезположення, трафік і стан замовлень у реальному часі; (2) рівень цифрового двійника - хмарна копія мережі, що безперервно оновлюється та підтримує симуляцію сценаріїв; (3) рівень прийняття рішень - алгоритм динамічної маршрутизації з мультиагентним навчанням із підкріпленням (MARL), який розподіляє замовлення між кур'єрами з урахуванням поточного стану мережі [3].

Показник ефективності доставки  $E$  оцінюється через зважену комбінацію трьох субіндексів:

$$E = \alpha_1 \cdot T_d + \alpha_2 \cdot C_{op} + \alpha_3 \cdot \varepsilon_{CO_2}, \quad (1)$$

де  $T_d$  - нормований час доставки;  $C_{op}$  - питомі операційні витрати на одну посилку [грн/од.];  $\varepsilon_{CO_2}$  - питомі викиди  $CO_2$  [г/км];  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - вагові коефіцієнти ( $\sum \alpha_i = 1$ ). Цифровий двійник мінімізує  $E$  шляхом генерації адаптивних маршрутів:

$$\min E \leftrightarrow \alpha_1 \cdot \Delta T_d(\Omega) + \alpha_2 \cdot \Delta C_{op}(\Omega) + \alpha_3 \cdot \Delta \varepsilon_{CO_2}(\Omega) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\Omega$  - простір допустимих маршрутних рішень; приріст  $\Delta$  відображає відхилення фактичних показників від базового плану, що слугує сигналом для кіберфізичного зворотного зв'язку.

Результати імітаційного моделювання на реальній дорожній мережі міста з 120 тис. мешканців засвідчили: впровадження цифрового двійника скорочує середній час доставки на 19–27 %, питомі операційні витрати - на 15–22 %, а викиди  $CO_2$  - на 11-16 % порівняно з класичним підходом статичної маршрутизації. Коефіцієнт успішних доставок з першої спроби зріс з 74 % до 91 % завдяки прогнозуванню доступності одержувача алгоритмом CNN [4].

Практична цінність дослідження полягає у можливості інтеграції розробленої архітектури в існуючі TMS-платформи через API без повної заміни інфраструктури. Підхід масштабується від районного рівня до агломерацій із кількома розподільчими центрами. Цифровий двійник є не лише симуляційним інструментом, а й органом оперативного управління LMD, здатним перетворювати сирі IoT-потoki на конкретні маршрутні рішення в режимі реального часу. Синергія MARL, CNN-прогнозування та кіберфізичного зворотного зв'язку відкриває новий клас адаптивних транспортних технологій, що виходять за межі класичної задачі VRP [5].

### Список використаних джерел

1. Nozari H., Szmelter-Jarosz A., Weiland D. A Fuzzy Multi-Objective Sustainable and Agile Supply Chain Model Based on Digital Twin and Internet of Things with Adaptive Learning Under Environmental Uncertainty. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 19. Art. 10399. DOI: 10.3390/app151910399.

2. Moufad I., Frichi Y., Jawab F., Mkhalfi J. Towards Smart and Sustainable Last Mile Delivery Systems: A Scoping Review and Conceptual Framework. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 24. Art. 11270. DOI: 10.3390/su172411270.

3. Shaker R. J., Hussain F., Chakranarayan V. et al. Optimizing Last-Mile Logistics with Digital Twins and Multi-agent Learning: Enhancing Efficiency, Customer Satisfaction, and Urban Integration. *SN Computer Science*. 2025. Vol. 6. Art. 980. DOI: 10.1007/s42979-025-04526-9.

4. Ieva S., Bilenchi I., Gramegna F., Pinto A., Scioscia F., Ruta M., Loseto G. Enhancing Last-Mile Logistics: AI-Driven Fleet Optimization, Mixed Reality, and Large Language Model Assistants for Warehouse Operations. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 9. Art. 2696. DOI: 10.3390/s25092696.

5. Ferreira J. C., Esperança M. Enhancing Sustainable Last-Mile Delivery: The Impact of Electric Vehicles and AI Optimization on Urban Logistics. *World Electric Vehicle Journal*. 2025. Vol. 16, No. 5. Art. 242. DOI: 10.3390/wevj16050242.

***Секція 9 «Надійність техніки і  
технологічного обладнання (постійно  
діюча секція для здобувачів вищої  
освіти)»***

УДК 338.43:656:339.9:502.131.1

## ЛОГІСТИКА АГРАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТ ЕКОЛОГІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ: ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ КЛІМАТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ ЄС

Катерина МАЦЮК, студентка

Валентина МЕЛЬНИК, к.е.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В умовах прискорення глобальних кліматичних змін екологічна модернізація економіки трансформувалася з добровільної ініціативи у системну вимогу міжнародної економічної політики. Провідну роль у цьому процесі відіграє Європейський Союз, який реалізує стратегічну програму Європейський зелений курс, спрямовану на досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року [2; 7].

У цьому контексті логістика аграрної продукції виступає одним із найбільш вуглецеємних елементів агропродовольчих ланцюгів. Зростання обсягів сільськогосподарського виробництва супроводжується інтенсифікацією транспортної роботи, що зумовлює збільшення викидів парникових газів і погіршення екологічних параметрів економічного розвитку [3].

Неефективність логістичних ланцюгів також спричиняє суттєві втрати продукції під час транспортування та зберігання, що знижує ресурсну ефективність аграрного сектору та підвищує його вуглецеву інтенсивність [4].

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-практичних засад екологічної модернізації логістики аграрної продукції та визначення напрямів її адаптації до кліматичних вимог Європейського Союзу.

Сучасні тенденції розвитку агробізнесу характеризуються просторовим розривом між виробниками та споживачами, що зумовлює необхідність виконання масштабних транспортних операцій. В Україні цей процес ускладнюється системними інфраструктурними обмеженнями, зокрема недостатнім рівнем розвитку логістичних потужностей і домінуванням автомобільних перевезень [1].

Надмірна концентрація вантажопотоків на автомобільному транспорті призводить до підвищеного антропогенного навантаження на довкілля, збільшення енергоємності перевезень і зростання викидів забруднювальних речовин, що суперечить сучасним екологічним стандартам ЄС [3].

Важливим елементом трансформації агропродовольчої системи є стратегія Farm to Fork Strategy, яка визначає необхідність формування кліматично нейтральної продовольчої системи з мінімальним впливом на довкілля [6].

Водночас регуляторним інструментом зовнішньоторговельної політики ЄС виступає Carbon Border Adjustment Mechanism, що передбачає врахування вуглецевого сліду продукції при її імпорті до ЄС [3]. За таких умов екологічна



модернізація агрологістики стає передумовою збереження конкурентоспроможності українського аграрного експорту.

Ефективні практики екологічної модернізації логістики демонструють країни ЄС, зокрема Нідерланди, де реалізується кластерна модель організації агрологістичних систем [4].

Основними принципами такої моделі є: просторове поєднання виробництва, переробки та дистрибуції; розвиток мультимодальних перевезень; цифровізація управління логістичними потоками [4].

Застосування кластерних підходів забезпечує скорочення транспортних відстаней, оптимізацію логістичних витрат і зменшення вуглецевого сліду аграрної продукції [4].

Для інтеграції до європейського економічного простору Україні доцільно впроваджувати кластерні моделі організації агрологістики, розвивати мультимодальні транспортні системи та цифровізувати логістичні процеси [1; 4].

Екологічна модернізація логістики аграрної продукції виступає стратегічною умовою адаптації економіки України до вимог кліматичної політики ЄС і збереження її експортного потенціалу [2; 3].

Отже, екологічна модернізація агрологістики є необхідною передумовою підвищення ефективності функціонування аграрного сектору в умовах кліматичних трансформацій. Імплементация європейських підходів до організації логістичних систем сприятиме зниженню негативного впливу на довкілля, оптимізації використання ресурсів і зміцненню конкурентних позицій України на ринку ЄС [2; 4].

### Список використаних джерел

1. Гриценко С. Розвиток аграрної логістики в контексті Угоди про асоціацію Україна–ЄС. Вісник Тернопільського національного економічного університету. 2014. № 4. С. 45–52. *(бібліографічні дані потребують уточнення сторінок)*
2. Іванюта С. П. Європейський зелений курс і кліматична політика України. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2022. 95 с. DOI: 10.53679/NISS-analytrep.2022.12.
3. Івасечко О. Я., Мельник Б. П. Стратегія кліматичної політики Green Deal: особливості імплементації у ЄС та в Україні. Регіональні студії. 2021. № 26. С. 9–14. DOI: 10.32782/2663-6170/2021.26.9.
4. Смирнов І. Г., Косарева Т. В., Мацера М. О. Європейський досвід аграрної логістики (на прикладі Нідерландів). Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2008.
5. Тихомирова Є. Б. Основні напрями кліматичної дипломатії ЄС : тези доповіді. Харків, 2018. *(потрібне уточнення видання)*
6. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the

Regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels, 2020.

7. Communication from the Commission. The European Green Deal. Brussels, 2019.

**УДК 621.432.001.2**

## **ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЛЬВАНІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД РЕМОНТУ ТА ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ**

**О. О. САВЧЕНКО**, студент магістратури, **П. С. ПОПИК**, к.т.н., доц.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У процесі експлуатації машин і механізмів деталі зазнають інтенсивного зношування, корозійного руйнування та втомних пошкоджень, що призводить до зниження їх працездатності й точності роботи. Особливо актуальною ця проблема є для сільськогосподарської техніки, яка працює в умовах підвищеної запиленості, вологості та змінних навантажень. Відновлення зношених деталей є економічно доцільною альтернативою їх заміні, а одним із найбільш поширених і технологічно ефективних способів ремонту є застосування гальванічних покриттів.

Сутність методу гальванічного відновлення полягає в електрохімічному осадженні металу або сплаву на поверхню зношеної деталі з метою відновлення її номінальних розмірів і експлуатаційних властивостей. До основних переваг гальванічних покриттів належать можливість точного регулювання товщини шару, рівномірність нанесення, висока адгезія до основного металу та відносно невелика теплова дія на деталь. Це дає змогу відновлювати деталі складної форми без порушення їхньої структури та геометрії.

Найбільш поширеними видами гальванічних покриттів, що застосовуються для відновлення працездатності деталей машин, є хромування, нікелювання, міднення та залізнення. Кожен із цих способів має свої технологічні особливості та області застосування. Наприклад, хромування забезпечує високу зносостійкість і твердість поверхні, тому широко використовується для відновлення валів, штоків гідроциліндрів і посадкових поверхонь під підшипники. Нікелювання, у свою чергу, підвищує корозійну стійкість і застосовується для деталей, що працюють у вологому або агресивному середовищі.

Якість і довговічність відновлених деталей значною мірою залежать від підготовки поверхні перед нанесенням покриття. Очищення від забруднень, знежирення, травлення та активування поверхні забезпечують надійне

зчеплення гальванічного шару з основним металом. Недотримання технології підготовки призводить до відшаровування покриття, появи тріщин і передчасного виходу деталі з ладу, що знижує ефективність ремонту.

Важливим чинником є також вибір режимів гальванічного процесу, таких як щільність струму, температура електроліту, тривалість осадження та склад розчину. Оптимізація цих параметрів дозволяє отримати покриття з необхідною товщиною, мікроструктурою та механічними властивостями. У ряді випадків після гальванічного відновлення застосовується додаткова механічна обробка або термічне оброблення для досягнення заданої шорсткості та твердості поверхні.

З економічної точки зору відновлення деталей гальванічними покриттями дає змогу значно скоротити витрати на ремонт і обслуговування машин. Вартість відновленої деталі, як правило, становить лише частину вартості нової, при цьому ресурс її роботи може досягати 70-90 % ресурсу нової деталі, а в окремих випадках - і перевищувати його. Це робить гальванічні методи особливо привабливими для ремонту відповідальних і дефіцитних деталей.

Сучасний розвиток ремонтних технологій пов'язаний з удосконаленням екологічної безпеки гальванічних процесів та впровадженням нових електролітів і композиційних покриттів. Зменшення токсичності розчинів, замкнені цикли водопостачання та автоматизація процесів підвищують безпеку праці й знижують негативний вплив на довкілля.

Отже, відновлення працездатності деталей машин гальванічними покриттями є ефективним, технологічно гнучким та економічно обґрунтованим методом ремонту. Його застосування дозволяє продовжити строк служби машин, зменшити витрати на придбання нових деталей і забезпечити надійну роботу техніки в складних умовах експлуатації.

### **Список використаних джерел**

1. Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Попик П. С. Надійність машин та обладнання. Ремонтуювання машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 313 с.
2. Ефективність способів відновлення деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки / П.С. Попик, Л.Л. Роговський, О.М. Вечера, О.Г. Поліщук // *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 115-120.
3. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Mykhailiuk, O. (2025). Investigation of geometric parameters of camshaft supports in engine casing components. *Engineering for Rural Development*, pp. 429-435.

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

**Я. ВІЩЕНКО**, студент  
**Ю. РЕВЕНКО** к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У світі розвитку автомобільних технологій є напрямок, який визначає вектор розвитку автомобільних двигунів та силових установок на найближчі десятиліття. І це – проектування нових конструктивних рішень, а також удосконалення існуючих варіантів гібридних силових установок.

Виробники та автомобільний світ не просто змагаються на потужність чи економічність, а йде боротьба за цілий комплекс параметрів: від інноваційності технологій до практичності їх застосування у реальних умовах.

Для автовиробників це попадання в топ найкращих та як підтвердження правильності обраного технологічного шляху. Для автовласників – це економічне та ефективне рішення особистої свободи.

Останнім часом можна спостерігати певну популярність повністю електричних автомобілів, але це не означає, що електромобілів краще чи гірше. Це може означати, що автомобільна промисловість іде паралельними шляхами розвитку або знайшла золоту середину між екологічністю та практичністю.

Чим відрізняються різні типи альтернативних силових установок автомобілів.

Стандартні гібриди (HEV) – це автомобілі, які поєднують у собі традиційний двигун внутрішнього згоряння та електромотор. Вони не вимагають підключення до електромережі – батарея заряджається під час руху, наприклад Toyota Prius.

Гібриди, що підключаються (PHEV) – у цих авто батарея більшої ємності, яку можна заряджати від електромережі. Вони можуть проїхати певну відстань тільки на електротязі, а потім працюють як звичайні гібриди, наприклад BMW X5 xDrive50e.

Повністю електричні автомобілі (BEV) працюють виключно від електрики і не мають двигуна внутрішнього згоряння, наприклад: автомобілі сімейства Tesla Model.

Тенденції виробництва показують, що автовиробники не готові повністю відмовитись від двигунів внутрішнього згоряння. Натомість вони шукають оптимальний баланс і гібридні технології, стають тим самим золотим перетином, який задовольняє і екологічні вимоги, і потреби покупців у практичності та універсальності.

Слід зазначити, що серед двигунів внутрішнього згоряння 78% оснащені системами наддуву, що вказуватиме на прагнення виробників підвищити ефективність класичних моторів.

Розглянемо ключові характеристики з метою оцінки ефективності реалізації сучасних технологій автомобільного двигунобудування.

Потужність та крутний момент. Для водія це не просто цифри у технічних характеристиках, це показник наскільки впевнено автомобіль прискорюється і як легко обганяє на трасі чи піднімається вгору. Високий момент, що крутить, важливий для комфортного водіння.

Шумність, вібрації та жорсткість. Чим грамотніше і технологічніше спроектована силова установка, тим краще силова установка справляється з цими характеристиками, тим комфортніше перебувати в автомобілі під час їзди. Ці особливості важливі для сімейних авто та машин бізнес-класу.

Реальна ефективність. Йдеться не лише про витрату палива чи електроенергії. Експерти оцінюють, наскільки ефективно силова установка використовує енергію у реальних умовах. Для споживача це безпосередньо пов'язане з економічністю та екологічністю автомобіля. Нові технології – двигун прогресу. Експерти звертають увагу на унікальні технічні рішення, що можуть змінити майбутнє автомобілебудування. Для покупця це означає доступ до передових технологій, які покращать ефективність володіння автомобілем.

Останнім часом гібридні технології намагаються вийти на перший план, демонструючи свою доцільність та ефективність.

Узагальнюючи основні тренди, можна відзначити домінування гібридних технологій над класичними. Переважна більшість гібридів у списку переможців свідчить про те, що автовиробники знайшли оптимальний баланс між екологічністю та практичністю. Це не просто перехідний етап, а повноцінне технологічне рішення, здатне задовольнити як суворі екологічні норми, так і потреби споживачів.

Мене вражає диверсифікація електрифікації. Наявність істотної частки звичайних гібридів, так і гібридів, що підключаються, говорить про те, що автовиробники йде паралельними шляхами знаходження «золотої середини». Різноманітність підходів дозволяє адаптуватися до різних ринкових сегментів та споживчих переваг.

Варто зазначити, що технології виробництва двигунів внутрішнього згоряння продовжують розвиватися. Повна відмова від ДВС у найближчому майбутньому малоімовірна і це вказує на еволюцію, а не революцію у проектуванні та виробництві ДВС.

Успіх гібридних установок показує, що майбутнє за інтеграцією різноманітних технологій. Комбінація електричних компонентів з традиційними ДВС дозволяє досягти вражаючих результатів у галузі ефективності та продуктивності.

Екологічний аспект розвитку автомобілебудування підтверджує, що BEV технології продовжують удосконалюватися і відіграватиме важливу роль у майбутньому, особливо у певних сегментах ринку.

Якщо говорити про майбутнє автомобільного ринку, то гібридні технології відіграватимуть ключову роль у середньостроковій перспективі. У зв'язку з цим відбудеться подальша оптимізація гібридних систем з акцентом на збільшення пробігу моделей PHEV на електриці. Можуть статися прориви в



технологіях акумуляторів, які збільшать привабливість повністю електричних автомобілів.

Найближчими роками можна буде побачити інноваційні рішення в галузі проектування ДВС, спрямовані на підвищення ефективності та зниження викидів.

**УДК 631.358:62**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ РАМ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ХТЗ**

**Ю. П. БОКЛАГ**, студент магістратури

**В. А. СИВОЛАПОВ**, старший викладач

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Основні дефекти деталей рами — спрацювання (табл.1), тріщини швелерів, поперечних брусів і кронштейнів, ослаблення заклепок.

Наявність тріщин визначають зовнішнім оглядом, а також використовуючи метод магнітної дефектоскопії. Тріщини заварюють дуговим електрозварюванням. Перед цим тріщину розроблюють на товщину полиці. На границях тріщини свердлять отвори діаметром 8...10 мм і заварюють її електродами діаметром 5...6 мм Э-42 УОНИИ 13/45 або Э-50 УОНИИ 13/55 з товстою обмазкою, ведучи шов від просвердленого отвору. Наплавлений метал шва повинен виступати над основним металом не більше як на 1...2 мм.

При наявності тріщин на полицях, які не виходять на стінку, крім заварювання тріщини, встановлюють стальну смугу товщиною 7—8 мм, яку приварюють тільки поздовжніми швами. Якщо тріщина виходить на стінку швелера, то, крім заварювання самої тріщини, на пошкоджене місце з внутрішнього боку необхідно встановити коробку і приварити її тільки поздовжніми швами; якщо тріщина проходить за середину стінки швелера, необхідно замінити лонжерон. Раму ремонтують при наявності не більше двох тріщин до середини лонжерона. В разі деформації лонжеронів їх виправляють за допомогою гвинтових або гідравлічних розпірок, стяжок тощо. Розібрані елементи рами виправляють у холодному стані під 100-тонним пресом ПБ-002. Для випрямлення з нагріванням до температури 500...600° С використовують 40- і навіть 20-тонні преси.

Неплощинність поверхонь швелерів у місцях кріплення кронштейнів не повинна перевищувати 0,5 мм, в інших місцях — 1,5 мм, а неперпендикулярність нижньої і верхньої полиць до вертикальної стінки швелера — 1 мм по всій довжині і в місцях кріплення поперечних брусів — 0,5 мм.

У заклепок, які ослабли, головки знімають ручним чи пневматичним зубилом або ж полум'ям газового пальника. Старі заклепки видаляють, а на їх місце ставлять нові. Перед встановленням в отвори заклепки нагрівають до температури  $830\ldots 900^{\circ}\text{C}$  (світло-червоний колір). Для клепаання використовують гідравлічні лещата.

При спільному розвертанні отворів у спряжених деталях збільшення діаметра окремих отворів під заклепки допускається до 22 мм.

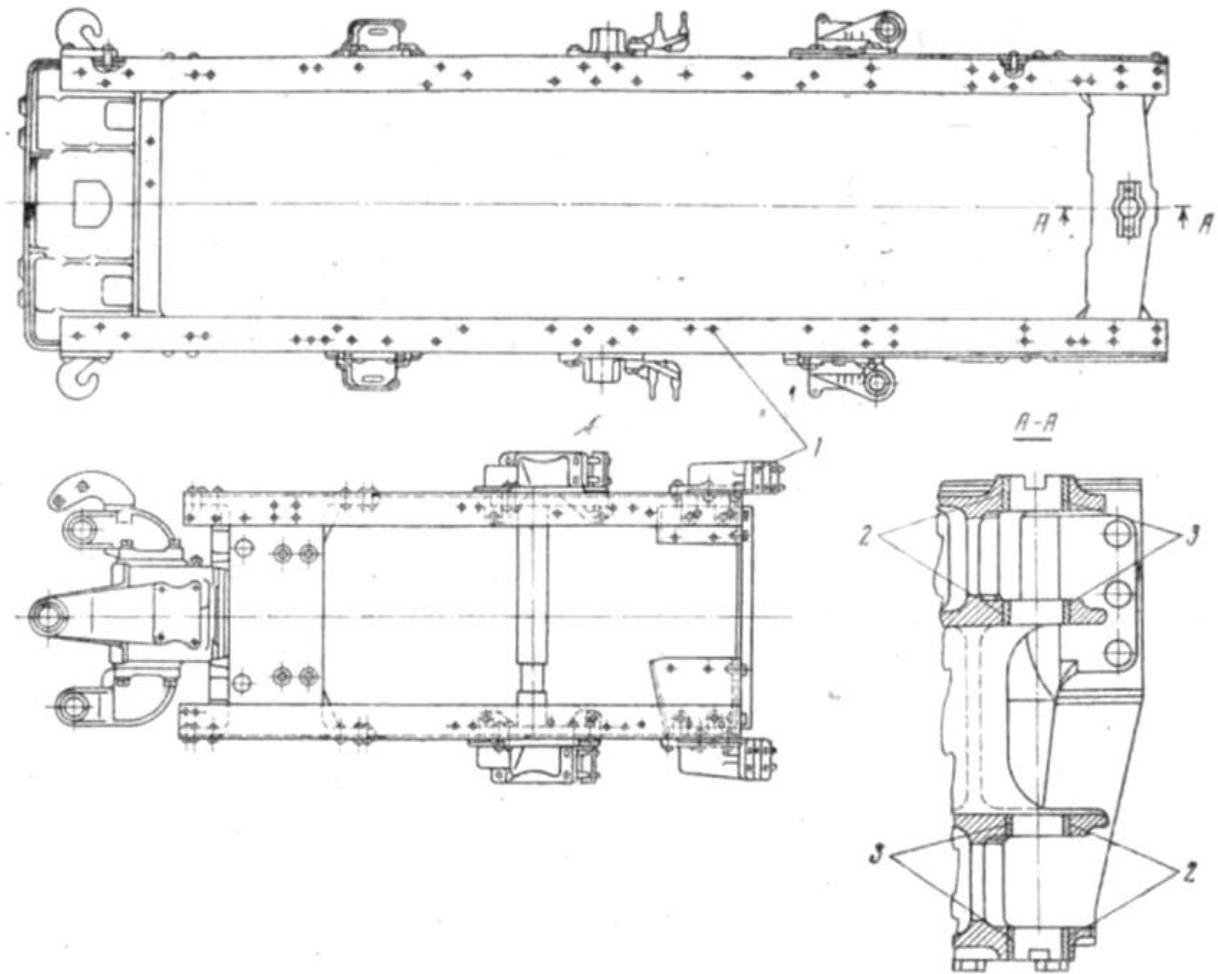


Рис. 1. Схема дефектів рами трактора ХТЗ-17221: передньої 151.30.011-4 (А) і задньої 151.30.012-4(Б)

Між склепаними деталями і під головками заклепок повинно бути щільне прилягання поверхонь (щуп 0,1 мм не повинен проходити між ними). Головки заклепок не повинні мати тріщин, зміщення їх відносно осі стержня допускається не більше 1 мм. Якість заклепувального з'єднання перевіряють за допомогою молотка масою 0,25 кг. Тремтіння або переміщення заклепки під ударами молотка не допускається. Основні дефекти деталей рами — спрацювання, тріщини швелерів, поперечних брусів і кронштейнів, ослаблення заклепок, посадок втулок горизонтального шарніра. Наявність тріщин

визначають зовнішнім оглядом, а також використовуючи метод магнітної дефектоскопії

Таблиця 1 - Рама трактора ХТЗ-17221: передня 151.30.011-4 (А) і задня 151.30.012-4(Б). Карта дефектації.

| Контрольовані дефекти |                                        | Розміри, мм.                                                           |                                  |         | Способи і засоби контролю |                          | Висновок         |
|-----------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Номер дефекту         | Назва                                  | За кресленням                                                          | Допустимі в з'єднанні з деталями |         | Назва                     | Означення                |                  |
|                       |                                        |                                                                        | були в експл.                    | новим и |                           |                          |                  |
| -                     | Тріщини, зломи                         | не допускаються                                                        |                                  |         | Огляд                     | —                        | Відновлювати     |
| -                     | Послаблення заклепок                   | не допускається                                                        |                                  |         | Огляд                     | —                        | Відновлювати     |
| 1                     | Пошкодження різі                       | Вмятини, забоїни, викришування, зрив більше 2-х витків не допускаються |                                  |         | Огляд                     | —                        | Відновлювати     |
| 2                     | Послаблення посадки втулок             | не допускається                                                        |                                  |         | Огляд                     | —                        | Відновлювати     |
| 3                     | Знос поверхонь отворів втулок під вісь | 60 <sup>+0.60</sup> <sub>+0,4</sub>                                    | 60,80                            | 61,00   | нутромір індикаторний     | НИ 50-100<br>ГОСТ 868-72 | Втулки бракувати |

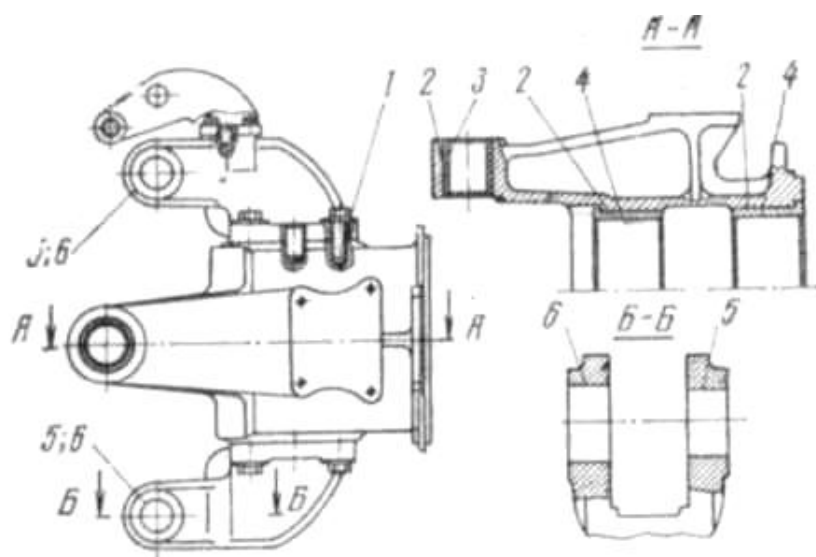


Рис. 2. Корпус шарніра 151.30.018-3СБ

**Таблиця 2 - Корпус шарніра 151.30.018-ЗСБ. Карта дефектації.**

| Контрольовані дефекти |                                                        | Розміри, мм.                                                           |                                |         | Способи і засоби контролю |                          | Висновок         |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Номер дефекту         | Назва                                                  | За кресленням                                                          | Допустимі в з'єднан з деталями |         | Назва                     | Означення                |                  |
|                       |                                                        |                                                                        | були в експл.                  | новим и |                           |                          |                  |
| -                     | Тріщини, зломи                                         | не допускаються                                                        |                                |         | Огляд                     | —                        | Бракувати        |
| 1                     | Пошкодження різі                                       | Вмятини, забоїни, викришування, зрив більше 2-х витків не допускаються |                                |         | Огляд                     | —                        | Відновлювати     |
| 2                     | Послаблення посадки втулок                             | не допускається                                                        |                                |         | Огляд                     | —                        | Втулки бракувати |
| 3                     | Знос поверхонь отворів втулок під вісь                 | 60 <sup>+0.60</sup> <sub>+0,4</sub>                                    | 60,80                          | 61,00   | нутромір індикаторний     | НИ 50-100 ГОСТ 868-72    | Втулки бракувати |
| 4                     | Знос поверхонь отворів втулок під трубу                | 212 <sup>+0.6</sup> <sub>+0,3</sub>                                    | 212,80                         | 213,1   | Пробки                    | 8140-21280Д, 8140-21310Д | Відновлювати     |
| 5                     | Знос поверхонь отвору вуха лівого і правого під палець | 50 <sup>+0.06</sup>                                                    | 50,20                          | 50,30   | нутромір індикаторний     | НИ 50-100 ГОСТ 868-72    | Відновлювати     |
| 6                     | Знос поверхонь отвору вуха лівого і правого під палець | 56 <sup>+0.06</sup>                                                    | 56,20                          | 56,40   | нутромір індикаторний     | НИ 50-100 ГОСТ 868-72    | Відновлювати     |

### Список використаних джерел

1. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 С.
2. Новицький А. В., Карабиньш С. С., Ружило З.В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіП, 2017. 212 с.

УДК 621.793:621.43-231.31

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ «КЛАПАН-СІДЛО КЛАПАНА» ДВЗ

**Є. Г. ОЛІФІРЕНКО**, студент магістратури  
**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

Деталі «клапан–сідло клапана» є одними з ключових елементів газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), оскільки саме вони визначають ефективність впуску та випуску газових потоків, рівень компресії, витрати палива та загальний ресурс двигуна [1]. Підвищення ресурсу цих елементів безпосередньо впливає на надійність силової установки та економічність їх експлуатації. Оскільки робочі поверхні деталей ДВЗ працюють під високими контактними напруженнями, температурами і корозійно-абразивними умовами, це потребує застосування новітніх технологій оцінки технічного стану та відновлення працездатності [2, 3].

Одним із найефективніших напрямів підвищення ресурсу елементів «клапан–сідло клапана» є використання вискоефективних покриттів і поверхневих модифікацій. Зарубіжні дослідження зосереджені на багатошарових нанокompозитних та мультиелементних покриттях, що поєднують властивості твердості, зносостійкості та термостійкості [4]. Зокрема, напилювання покриттів на основі TiN, CrN, DLC (Diamond-Like Carbon) забезпечує значне зниження коефіцієнта тертя, підвищення опору абразивному зносу та температурній деградації робочих поверхонь. Такі покриття дозволяють збільшити міжремонтний ресурс у 1,5–3 рази залежно від режимів експлуатації та складу палива.

Вітчизняні розробки зосереджені на модифікації поверхневого шару шляхом імплантації іонів азоту та бору, що формує зміцнений шар з високою щільністю дефектів, що гальмують розповсюдження тріщин. Ці технології демонструють перспективність у підвищенні контактної міцності та опору кроковому зносу у робочих умовах.

У разі фізичного зносу робочих фасок клапанів та гнізд широко застосовуються методи локального нарощування матеріалу з подальшою обробкою. Зарубіжна практика включає лазерне або електронно-променеве наплавлення з використанням порошків на основі жаростійких та зносостійких сплавів (Ni-, Co-, Fe-базові), що дозволяє відновити оптимальну форму фасок із мінімальним тепловим впливом на базовий метал. Основною перевагою таких технологій є значне підвищення ресурсу відновлених деталей без зниження їх механічних властивостей.

Вітчизняні технології відновлення базуються на застосуванні газотермічного напилення (напилювання плазмою або порошковим дротом), що



забезпечує достатню адгезію нарощеного шару та мінімізує деформації. Недоліком традиційних газотермічних технологій є потреба у висококваліфікованому персоналі та значна трудомісткість підготовчих операцій.

Розглянемо адитивні технології та 3D-друк для відновлення ресурсу вказаних деталей. Адитивні технології, зокрема селективне лазерне плавлення та електронно-променеве випаровування металевого порошку, відкривають нові можливості для відновлення складних профільних поверхонь гнізд клапанів без суттєвого нагріву всього деталі. Зарубіжні компанії впроваджують такі методи для забезпечення точного контролю товщини та структури шару, що дозволяє отримати зносостійкі поверхні із заданим мікроструктурним складом.

Вітчизняні дослідження зосереджені на адаптації цих технологій для ремонтних процесів у серійному виробництві, зокрема шляхом розробки універсальних параметрів лазерного наплавлення для традиційних сталей і сплавів. Однак висока вартість обладнання та потреба у точному контролі процесу обмежують широке впровадження на підприємствах технічного сервісу.

Сучасні технології оцінки працездатності включають не лише візуальний та вимірювальний контроль, але й методи не руйнівного контролю: ультразвуковий контроль, вимірювання твердості, спектральний аналіз залишкових напруг, а також використання інфрачервоної термографії для виявлення початкових стадій дефектів. Зарубіжні системи включають інтегровані вимірювальні комплекси з автоматичним аналізом профілю фасок та стану ущільнюючих поверхонь, що дозволяє визначити можливість подальшої експлуатації або потребу в ремонті з високою точністю.

Вітчизняні методи, що застосовуються у сервісних лабораторіях, базуються на комплексі традиційних вимірювань геометрії та твердості, доповнених цифровою обробкою даних. Такі підходи є менш трудомісткими, але вимагають подальшого розвитку методик і оснащення обладнанням для автоматичної діагностики.

При оцінці перспективних технологій важливо враховувати їх трудомісткість, яка визначає ефективність впровадження на практиці технічного сервісу. Технології поверхневого зміцнення методом PVD/CVD та імплантації іонів характеризуються високою енерго- та капіталомісткістю, проте забезпечують значне продовження ресурсу деталей і зменшення частоти ремонтів. Локальне лазерне наплавлення, незважаючи на менший тепловий вплив, потребує кваліфікованого обслуговування обладнання та ретельного контролю параметрів процесу. Адитивні технології забезпечують високу точність відновлення, але їх впровадження обмежується високою вартістю обладнання та потребою у спеціальних знаннях. Методики NDT дозволяють знизити трудомісткість діагностики за рахунок автоматизації вимірювань та

обробки результатів, що сприяє своєчасному прийняттю рішення про відновлення або заміну деталі.

Таким чином, перспективними технологіями підвищення ресурсу деталей «клапан–сідло клапана» ДВЗ є комплекс поверхневих зміцнень, локальних відновлень геометрії та сучасні методи оцінки стану. Зарубіжні технології забезпечують високий рівень автоматизації та ефективності, проте вимагають значних інвестицій і кваліфікації персоналу. Вітчизняні підходи, з одного боку, є більш доступними, але потребують подальшого технічного удосконалення для підвищення точності діагностики і скорочення трудомісткості ремонтних процесів. Раціональне поєднання методів поверхневого зміцнення, автоматизованої діагностики та сучасних технологій відновлення дозволить істотно підвищити експлуатаційний ресурс критичних елементів газорозподільного механізму ДВЗ.

### Список літературних джерел

1. Новицький А. В. (2014). Моніторинг тенденцій розвитку системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. Вип. 2. С. 41–48.

2. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Mykhailiuk, O. (2025). Investigation of geometric parameters of camshaft supports in engine casing components. *Engineering for Rural Development*, pp. 429-435. DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF092, <https://www.scopus.com/pages/publications/105010680840?origin=resultslist>

3. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Stetsiuk, S. (2024). Research on influence of geometric parameters of engine body parts during repair process *Engineering for Rural Development*. pp. 811-816. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184886375&origin=resultslist>

4. Аулін, В. В., Мірний В. Ю., Кузик О. В. (2018). 3-D Технології лазерного відновлення деталей машин. Підвищення надійності машин і обладнання : XII наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих учених, 18-20 квіт. 2018 р., Кропивницький : зб. тез доп. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ. С. 78-81.

5. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. № 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>

УДК 621.52-233.2:620.17

## ІСТОРИЧНІ ВИТОКИ СТВОРЕННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

**Г. В. МОШКІВСЬКИЙ, З. В. РУЖИЛО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [ruzhylo@nubip.edu.ua](mailto:ruzhylo@nubip.edu.ua), [mrachkovskyioleksii8@gmail.com](mailto:mrachkovskyioleksii8@gmail.com)*

Зернозбиральний комбайн — складна зернозбиральна машина, що виконує послідовно безперервним потоком і водночас: зрізання хліба, подання його до молотильного апарату, обмолот зерна з колосся, відділення його від купи й інших домішок, транспортування чистого зерна в бункер і механічне вивантаження з нього.

Батьківщиною сучасного зернозбирального комбайна є США. У 1828 році S. Lane заявив перший патент на складну комбіновану прибиральну машину, яка одночасно зрізала хліб, обмолочувала його і очищала зерно від лушпиння. Проте, ця машина не була побудована.

Першим здійсненим комбайном потрібно вважати винайдений Е. Briggs і EG Carpenter 1836 року. Цей комбайн був змонтований подібно до возу на 4-колісному ході; обертання молотильного барабана і приведення в дію різального апарату здійснювалися передачею від 2 задніх коліс.

У тому ж 1836 році, трохи пізніше, два винахідники Н. Moore і J. Hascall отримали патент на машину, яка за основними принципам робочих процесів наближалася до конструкції комбайна сучасного типу. У 1854 році цей комбайн працював в Каліфорнії і прибрав 600 акрів (бл. 240 га). До 1867 р. роботи з конструювання і створення комбайнів проводилися переважно в східних штатах США.

Побудований в 1875 році в Каліфорнії комбайн конструкції D.C. Peterson, знайшов собі значно більше застосування, ніж комбайни інших винахідників.

У 1890 році заводським виготовленням комбайнів займалися вже 6 фірм (в тому числі Holt), котрі випускали комбайни для продажу. Всі каліфорнійські комбайни виконувалися, головним чином з дерева, мали велике захоплення ріжучого апарату. Пересування комбайна по полю здійснювалося кіньми і мулами, яких було потрібно до 40 голів, робочі органи приводилися в рух за допомогою передач, від ходових коліс, а з 1889 від спеціальної парової машини. Все це призводило до надмірної громіздкості комбайнів, їх вага іноді доходила до 15 т.

Наприкінці 1880-х років на Тихоокеанському узбережжі США працювало близько 600 комбайнів каліфорнійського типу. На початку 1890-х років з метою заміни живої тяги механічною як рухової сили почали, застосовувати парові самоходи, від яких в подальшому перейшли до тягачів-тракторів з двигуном внутрішнього згоряння.

Перший комбайн фірми Holt з 36-футовим (11 м) ріжучим апаратом у комплекті з 120-сильним паровим самоходом з окремим допоміжним паровим двигуном на рамі комбайна був випущений 1905 року. У 1907 році тою ж фірмою Holt було поставлено двигун внутрішнього згоряння.

Тільки з 1926 року почалося відносно широке впровадження комбайнів в сільськогосподарському виробництві США. Проте розквіт комбайнобудування тривав всього кілька років. Світова економічна криза дуже сильно позначилася на експорті пшениці та на виробництві комбайнів. Виробництво комбайнів, що доходило в 1929 до 37 тис. на рік, впало в 1933 до 300 штук.



Рис.1. Старовинний комбайн, Новий Південний Уельс, Австралія.

До Російської імперії перший комбайн було завезено фірмою Holt в 1913 році на Київську сільськогосподарську виставку. Це була дерев'яна конструкція на однострічковому гусеничному ході з 14-футовим захопленням ріжучого апарата і з бензиновим мотором для одночасного приведення в дію механізмів і пересування самої машини. Комбайн випробовувався на Якимівській машинодослідній станції, дав хороші показники роботи. Але застосування в умовах сільського господарства не знайшов - в 1914 почалася Перша світова війна.

Знову до комбайну повертаються вже в СРСР.

У зв'язку з організацією великого товарного виробництва у зернових радгоспах СРСР у період з 1929 по 1931 організує масовий імпорт комбайнів із США. На початку 1930 року первісток радянського комбайнобудування завод «Комунар» в Запоріжжі випустив перших 10 комбайнів, під кінець року загальна кількість вироблених комбайнів досягло 347. З 1931 року почав випуск комбайнів Ростовський завод «Ростсільмаш» (комбайн «Сталінець»), в 1932 році приступив до виробництва завод у Саратові (СКЗ - «Саркомбайн»).

Всі вони були не пристосовані для вологого збирання хліба, у зв'язку з цим в 1936 році Люберецький завод приступив до випуску північного комбайну конструкції винахідників Ю. Я. Анвельта і М. І. Григор'єва - Скаго-5-А, який був пристосований до вологого збирання хліба на невеликих площах.

Після другої світової війни були проведені великі наукові дослідження, що суттєво збагатили теорію зернозбирального комбайна. Зокрема була детально досліджена роль відбійного бітера і соломотряса в процесі сепарації зерна, що дозволило істотно підвищити ефективність роботи зазначених вузлів. Були проведені дослідження аеродинамічних властивостей грубого вороху, що дозволило суттєво покращити ефективність очищення зерна. На підставі зазначених досягнень в 60-і роки були розроблені проекти високопродуктивних (для тих років) типів комбайнів СК-5 і СК-6.

Українські вчені та конструктори внесли вагомий внесок до розвитку комбайнобудування і заклали підвалини для створення та виробництва в Україні власного зернозбирального комбайна.

### **Список використаних джерел**

1. Жучок О.В., Ружи́ло З.В. Дефекти системи обмолоту зернозбирального комбайна.: збірник праць студентів та магістрів факультету конструювання та дизайну. – 2022. – с. 88-89.
2. Войтюк Д. Г., Гаврилук Г. Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. 2-е вид. - К.: Каравела, 2008. -552 с.
3. Новицький А.В., Ружи́ло З.В., Бистрий О.М., Банний О.О, Сиволапов В.А. Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання. Навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.
4. З.В. Ружи́ло, В.В. Марченко, В.М. Несвідомін Ринок зернозбиральних комбайнів. Новини агротехніки №6 (71)/2009, - С. 34-39
5. З.В. Ружи́ло, В.В. Марченко, В.М. Несвідомін Ринок зернозбиральних комбайнів. Новини агротехніки №5 (70)/2009, - С. 37-43
6. З.В. Ружи́ло, В.В. Марченко, В.М. Несвідомін Ринок зернозбиральних комбайнів. Новини агротехніки №4 (70)/2009, - С. 34-39

**УДК 631.358:62**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРІВ МТЗ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4**

**В. О. ПІДВИСОЦЬКИЙ**, студент магістратури  
**В. А. СИВОЛАПОВ**, старший викладач

Трактори МТЗ є дуже поширеними в сільському господарстві України. Колісні трактори МТЗ-100 і МТЗ-102 створені на основі всебічної та глибокої модернізації універсально-пропашних сільськогосподарських тракторів МТЗ-80 і МТЗ-82.



У коробці передач з перемиканням під навантаженням передачі включають багатодисковими гідروпіджимними фрикційними муфтами. При цьому незначно змінюється частота обертання колінчастого вала дизеля, а потік потужності, що йде від дизеля до ведучих коліс, в момент переходу з однієї передачі на іншу не розривається, що істотно покращує динамічні якості трактора (особливо при роботі у важких польових умовах і на транспортних роботах).

Вивчення технічного стану деталей почали з корпусу, оскільки від неї в значній мірі залежить довговічність роботи коробки передач. Корпус 80-1701025. Матеріал - СЧ 20; маса - 145 кг; твердість - 170...241 НВ.

Виявлено основні пошкодження - пошкодження різи, знос поверхонь отворів під стакани та під підшипники, знос поверхонь отворів під штифти, знос поверхні під поводки. При наявності зломів, які виходять на поверхню отворів, корпус вибраковують.

Тріщини корпусу відновлюємо механізованим зварюванням чавуну самозахисним дротом ПАНЧ-11 без підігріву. Зварювання дротом ПАНЧ-11 здійснюється, відкритою дугою, без додаткового захисту газом або флюсом. Кращі результати забезпечуються на постійному струмі прямої полярності при слідуючих значеннях параметрів режиму (для дроту діаметром 1,2 мм):  $I_{зв} = 100...140 \text{ A}$ ;  $U_a = 14...18 \text{ В}$ ;  $V_{зв} = 0,15...0,25 \text{ см/с}$ .

Горіння дуги відрізняється стабільністю, процес протікає практично без розбризкування, формування швів хороше, без підрізів та інших зовнішніх дефектів, у всіх просторових положеннях. Метал шва характеризується наступними показниками механічних властивостей: межа міцності - до 55 кгс/мм<sup>2</sup>, межа текучості - до 35 кгс/мм<sup>2</sup>, подовження - до 25%. Властивості сполук в цілому визначаються зварюванням чавуном. При випробуванні на розтягування зразки руйнуються, як правило, по основному металу.

Малий діаметр дроту (1...1,2 мм) ПАНЧ-11 дає можливість рекомендувати вузьку обробку кромки. У результаті цього досягається значне зменшення тепловкладення в деталь, забезпечуються жорсткі термічні цикли в районі зварювання, звужується зона структурних перетворень в основному металі. Для зварювання дротом ПАНЧ-11 придатні будь-які шлангові напівавтомати, призначені для подачі дроту діаметром 1...1,2 мм: А-547, А-547У; А-285; серії ПДГ та інші в комплекті з випрямлячами ВС-200; ВС-300 або зварювальними перетворювачами з жорсткою характеристикою.

При пошкодженні різи отвір розсвердлюють, нарізають різьбу і встановлюють ремонтну пробку на епоксидній суміші. Зміщення осей відновлених різбових отворів допускається не більше як на 0,25 мм від їх номінального розміщення.

Спрацьовані отвори під підшипники і стакани підшипників розточують, проводять місцеве настилювання і знову розточують до нормальних розмірів.

Під час осталювання поверхня повинна бути рівною, срібlisto-білого кольору. Тріщини, відшарування, пори, раковини, темні смуги на поверхні покриття не допускаються.

Основними дефектами валів та шестерень є спрацювання шліців, поверхонь під підшипники кочення, зубів по товщині, органічні і мінеральні відклади, пошкодження різи, тріщини, поломка і викришування зубів.

При незначному спрацюванні посадочних поверхонь під підшипники кочення (до 0,06 мм на діаметр) їх відновлюють за допомогою еластомира Г9Н-150В. При значному спрацюванні (більше 0,06 мм) поверхні наплавляють віброконтактним способом наплавочним дротом 1,8Нп-50, обточують і шліфують до нормальних розмірів. Після обточування поверхні обробляють пластичним деформуванням за допомогою обкатки роликми.

Спрацьовані шліци (при зменшенні їх товщини на 0,5 мм і більше) наплавляють у середовищі вуглекислого газу, потім вал обточують, фрезерують шліци і гартують їх за допомогою струму високої частоти. Після цього вал шліфують до нормального діаметра.

#### **Список використаних джерел**

1. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 С.
2. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З.В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіП, 2017. 212 с.

**УДК 631.3-192:662.63**

### **НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ГІДРОАГРЕГАТИВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЯК УМОВА ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН**

**І.О.САВЧЕНКО**, студент магістратури

**П.С. ПОПИК**, к.т.н., доц.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Гідроагрегати є одними з найважливіших складових сучасної сільськогосподарської техніки. Вони забезпечують передавання енергії, керування робочими органами, регулювання швидкості та зусиль, а також автоматизацію багатьох технологічних процесів. Надійність роботи гідроагрегатів безпосередньо впливає на продуктивність машин, якість виконання сільськогосподарських операцій і економічні показники виробництва. Умови експлуатації сільськогосподарської техніки - значні

навантаження, запиленість, вібрації, коливання температури - висувають підвищені вимоги до надійності гідросистем.

Під надійністю гідроагрегатів розуміють їх здатність зберігати працездатний стан упродовж заданого часу та виконувати встановлені функції в конкретних умовах експлуатації. Основними складовими надійності є безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність. Для гідросистем сільськогосподарських машин особливо важливою є безвідмовна робота, оскільки відмова насоса, гідророзподільника чи гідроциліндра часто призводить до повної зупинки машини або порушення технологічного процесу.

Надійність гідроагрегатів значною мірою закладається на етапі проєктування та виготовлення. Рациональний вибір типу гідроприводу, робочого тиску, конструктивних схем і матеріалів деталей забезпечує необхідні запаси міцності та зносостійкості. Важливу роль відіграє якість обробки поверхонь тертя, точність виготовлення ущільнень і клапанних елементів, а також відповідність гідроагрегатів міжнародним і національним стандартам. Недоліки конструкції або виробничі дефекти значно знижують ресурс роботи гідросистеми та підвищують імовірність відмов.

Суттєвий вплив на надійність мають умови експлуатації та технічного обслуговування. Однією з основних причин відмов гідроагрегатів є забруднення робочої рідини. Потрапляння механічних домішок і вологи прискорює зношування насосів, розподільників і гідроциліндрів, викликає заїдання рухомих елементів і порушення герметичності. Тому своєчасна заміна та фільтрація гідравлічної рідини, контроль її температури й рівня є необхідними умовами надійної роботи гідросистеми.

Не менш важливим чинником є дотримання режимів роботи, рекомендованих виробником. Перевищення допустимого тиску, робота з перевантаженням, різкі зміни напрямку руху робочих органів призводять до підвищених динамічних навантажень і зниження ресурсу гідроагрегатів. Особливо це актуально для мобільної сільськогосподарської техніки, де гідросистема працює в умовах постійних змін навантажень і швидкостей.

Значну роль у забезпеченні надійності відіграє кваліфікація обслуговуючого персоналу. Своєчасне виявлення підтікань, сторонніх шумів, зниження швидкості або зусилля гідроприводу дозволяє запобігти розвитку відмов і виконати ремонт на ранній стадії. Навчання механізаторів і сервісних працівників основам діагностики гідросистем підвищує загальний рівень надійності машинного парку.

Сучасний етап розвитку сільськогосподарської техніки характеризується впровадженням систем контролю та діагностики гідроагрегатів. Використання датчиків тиску, температури та витрати робочої рідини дає змогу в реальному часі оцінювати технічний стан гідросистеми та прогнозувати можливі відмови. Це створює передумови для переходу до профілактичного та умовно-орієнтованого технічного обслуговування.

Отже, надійність роботи гідроагрегатів сільськогосподарської техніки є комплексною характеристикою, що залежить від конструктивних рішень, якості виготовлення, умов експлуатації, рівня технічного обслуговування та підготовки персоналу. Підвищення надійності гідросистем забезпечує зменшення простоїв машин, зниження витрат на ремонт і обслуговування, підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарського виробництва загалом.

### **Список літературних джерел**

1. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskyi, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. *Machinery & Energetics*, 14(1), 57-67.
2. Ружи́ло З.В., Мельник В.І., Новицький А.В., Ревенко Ю.І., Бистрий О.М., Мельник В.І., Попик П.С. Надійність машин та обладнання. Ремонтівання машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 313 с.
3. Trokhaniak V.I., Rogovskii I.L., Titova L.L., Luzan P.H., Popyk P.S., Bannyi O.O. Computational fluid dynamics investigation of heat-exchangers for various air-cooling systems in poultry houses. *BULLETIN OF THE UNIVERSITY OF KARAGANDA-PHYSICS*, 2020, vol. 1, no. 97, pp. 125-134.

**УДК 621.865:629.3.004.67:658.512.2**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВСТАНОВЛЕННЯ І КРІПЛЕННЯ ГОЛОВНОЇ ПЕРЕДАЧІ СТЕНДУ З РЕМОНТУ АГРЕГАТИВ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

**А. М. ЩЕКАЛЬОВА**, студентка магістратури

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

Удосконалення механізму встановлення і кріплення головної передачі на стенді з ремонту агрегатів мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) спрямоване на підвищення точності позиціонування, зменшення трудомісткості монтажних-демонтажних операцій та забезпечення ергономічної безпеки персоналу [1, 2]. Значна маса агрегатів (до 260 кг і більше) та складна просторова конфігурація корпусів редукторів задніх мостів зумовлюють необхідність застосування багатоточкових систем фіксації, що забезпечують самоустановлення агрегату відносно базових осей стенда та стабільність його положення під час виконання складально-регулювальних робіт.

Конструктивна модернізація передбачає впровадження комбінованого затискного механізму з гідромеханічним або електромеханічним приводом, оснащеного синхронізованими притискними елементами. Застосування шарнірно-поворотних опор із мікрометричним регулюванням дозволяє компенсувати технологічні допуски корпусних деталей і мінімізувати перекоси під час складання. Використання системи швидкозмінних адаптерів забезпечує універсалізацію станда для різних типорозмірів головних передач без суттєвої реконфігурації обладнання, що сприяє підвищенню гнучкості ремонтного виробництва.

З метою підвищення надійності фіксації агрегату розроблено просторову раму з підсиленими силовими елементами та інтегрованими датчиками навантаження, які забезпечують контроль сил затискання в реальному часі. Це дозволяє запобігти перевищенню допустимих контактних напружень у зонах базування та зменшити ризик пошкодження корпусних деталей. Інтеграція механізму кріплення з автоматизованим позиціонером і промисловим маніпулятором формує єдину кінематичну систему, здатну виконувати кероване просторове орієнтування агрегату з високою повторюваністю та точністю.

Обґрунтування встановлення автоматизованого позиціонера у складі роботизованого комплексу-станду базується на необхідності механізації операцій повороту, транспортування та встановлення важких редукторів. Під час розбирання, дефектування та регулювання зачеплення виникає потреба багаторазової зміни положення корпусу в різних площинах, що за умов ручного виконання супроводжується підвищеною трудомісткістю та ризиком травматизму. Автоматизований позиціонер забезпечує програмно-кероване позиціонування агрегату, синхронізоване з діями маніпулятора, що дозволяє стандартизувати технологічні операції та зменшити вплив людського фактора на якість ремонту [1, 2].

Стенд доцільно розміщувати у спеціалізованих дільницях розбирання та складання трансмісій, агрегатно-ремонтних дільницях МЕЗ, а також у механоскладальних відділеннях підприємств технічного сервісу [3]. Його використання є ефективним у зонах капітального ремонту редукторів і мостів, де виконуються операції дефектування, регулювання зубчастих передач і контрольованого складання. Розташування станда в межах потокової або постової організації ремонту забезпечує раціональну логістику переміщення важких вузлів та мінімізацію внутрішньоцехових транспортних операцій.

Зменшення трудомісткості ремонтно-монтажних робіт досягається за рахунок комплексної механізації процесів встановлення і фіксації агрегатів, застосування швидкодіючих затискних механізмів із синхронізованим приводом, використання універсальних адаптерів, а також інтеграції станда з вантажопідіймальними пристроями або промисловими маніпуляторами [3]. Раціональне базування, регульовані опори та вбудовані вимірювальні засоби скорочують час на центрування і контрольні операції, підвищуючи



продуктивність праці, коефіцієнт готовності ремонтної ділянки та якість відновлення головних передач тракторів [4].

### Список літературних джерел

1. Новицький А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 87–94.

2. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. № 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>

3. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Stetsiuk, S. (2024). Research on influence of geometric parameters of engine body parts during repair process *Engineering for Rural Development*. pp. 811-816. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184886375&origin=resultslist>

4. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Mykhailiuk, O. (2025). Investigation of geometric parameters of camshaft supports in engine casing components. *Engineering for Rural Development*, pp. 429-435. DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF092, <https://www.scopus.com/pages/publications/105010680840?origin=resultslist>

УДК 621.52-233.2:620.17

## ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ СТАКАНА ПІДШИПНИКА

**З. В. РУЖИЛО**, к.т.н., доц., **С. О. СВИНАРЕНКО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [ruzhylo@nubip.edu.ua](mailto:ruzhylo@nubip.edu.ua), [sergejarmii@gmail.com](mailto:sergejarmii@gmail.com).*

У сільськогосподарських машинах, знаряддях, обладнанні тваринницьких ферм більшість деталей мають циліндричні поверхні, що дозволяє на одному обладнанні обробляти широку номенклатуру деталей: стакани КПП тракторів Т-150, Т-150К, корпуси та кришки корпусів підшипників дискових борін БДТ-7, ВДВ-6, БДТ-3, БДС-2,5, кришки редукторів гнойових транспортерів та ін. Тому доцільно створювати ділянки для відновлення циліндричних деталей з нарощуванням зношеного шару наплавленням з послідуною механічною обробкою на спеціальному обладнанні.

Для усунення дефектів стакана підшипника, треба обрати найбільш раціональний спосіб відновлення, тобто технічно обґрунтований та економічно

вигідніший. Раціональний спосіб ремонту деталей визначають, користуючись наступними критеріями: технологічними, технічними та техніко-економічними.

Технологічний критерій в значній мірі визначає принципову можливість використання способу відновлення, виходячи з конструктивно-технічних особливостей даної деталі. До числа цих особливостей відносяться:

- геометрична форма;
- геометричні розміри;
- матеріал;
- термічна або інший вид поверхневої обробки;
- твердість поверхні;
- шорсткість поверхні;
- точність виготовлення деталі;
- вид тертя;
- вид зношування.

З урахуванням всіх цих особливостей до групи відновлюваних деталей, в яку входить стакан підшипника, більш всього прийнятним способом його відновлення є спосіб контактного приварювання металевої стрічки на зношену поверхню. Для цього застосовують сталю стрічку 65Г та устаткування для її приварювання 011-1-02. Цей метод полягає в приварюванні металевої стрічки під дією зварювальних імпульсів.

Стрічка приварюється при напрузі 325 ... 380 В. Чим більше діаметр деталі яку відновлюють та товщина стрічки, тим більше використовують напругу заряду конденсаторів. При збільшенні імпульсу струму зварювання при ємності 6400 ... 8000 пкФ якість зварного шва відчутно зростає, луцення зварного шару зменшується до 2%.

Імпульсу струму 16...18 кА відповідає глибина зони термічного впливу 0,5...0,6 мм, а імпульсу 14...16 кА - 0,4...0,5 мм.

Частоту імпульсів підбирають так, щоб забезпечити на 1 см довжини зварного шва 6 або 7 зварних точок. При відновленні деталей діаметром 50 мм і більше, зусилля затискання становить 1,4...1,6 кН. Як матеріал для електродів застосовують спеціальні сплави основою яких є мідь. Найбільш добре підходить бронза Бр НБТ, а найуніверсальнішим є - Бр ХК-д - 0,5...0,3.

Після завершення наплавлення стакан підшипника обробляють на металорізальних верстатах. Токарні операції включають у себе обробку наплавлених поверхонь та проточування канавки.

Відновленні отвори для закріплення розточуються під номінальний розмір відповідно до документації.

По завершенню вищезазначених операцій оброблені поверхні стакана шліфуються під номінальний розмір. Фрезерна операція включає в себе фрезерування фланця і зняття зайвого металу.

Кінцева операція – це контрольна. якості обробки поверхні стакана підшипника.

Технічний критерій оцінює обраний спосіб видалення дефектів даної деталі з точки зору відновлення показників якості верхнього шару металу, який забезпечує її працездатність. Для обраного способу контактного приварювання металевої смуги проводимо комплексну якісну оцінку значення коефіцієнта довговічності, який розраховують за формулою:

$$K_d = K_i \cdot K_v \cdot K_c \cdot K_n, \quad (1.)$$

де  $K_i$ ,  $K_v$ ,  $K_c$  - відповідно коефіцієнт зносостійкості, витривалості та зчеплюваності покриттів;

$K_n$  - поправочний коефіцієнт, що включає фактичну працездатність відновлених деталей за умов експлуатації.

Тоді:

$$K_d = 1,0 \cdot 0,87 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,783.$$

Техніко-економічний критерій пов'язує вартість відновлюваної деталі з її довговічністю після усунення дефектів. Умова техніко-економічної ефективності способу усунення приводиться до виразу:

$$C_v \leq K_d \cdot C_n, \quad (2.)$$

де  $C_v$  - вартість відновлюваної деталі, грн;

$C_n$  - вартість нової деталі.

$$49,3 \leq 0,783 \cdot 51,6$$

$$49,3 \leq 40,403.$$

Висновок:

Проаналізувавши технологічний, технічний та техніко-економічний критерії, приходимо до висновку, що контактне приварювання металевої стрічки є раціональним способом для відновлення стакана підшипника, а також корпусів і кришок підшипників інших сільськогосподарських машин.

### Список використаних джерел

1. Сідашенко О.І. Ремонт машин і обладнання: підручник /О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Аграр Медіа Груп, 2018. – 632 с.

2. [Novytskyi A. V., Bannyi O. O., Bustruy O. M. \(2021\). Study of influence of operating factors on technical condition of agricultural machinery. Machinery and Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 12, No. 3. pp. 39–46.](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85182189405&origin=resultslist)

3. Мельник В.І., Новицький А.В., Ружи́ло З.В., Ревенко Ю.І., Бистрий О.М., Попик П.С., Мельник В.І. Надійність машин та обладнання. Том 2. Ремонт машин та відновлення деталей. Навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 309 с.

4. С. Карабиньш, З.Ружи́ло, А. Новицький, В. Сиволапов Механізм сумісної дії точкового зварювання і склеювання на робочі характеристики

з'єднання. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. - Львів, 2008. - 312(2) - с319-325

УДК 621.9:658.512.2:62-192

## **ОСОБЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ КОНСТРУКТОРСЬКО- ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ**

**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент,  
**Д. В. ПЛАКСІЙ**, студент магістратури

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

Подолання високого ступеня зношеності та аварійності є необхідною умовою підвищення якості обслуговування допоміжного обладнання підприємств технічного сервісу (ТС) [1]. Відновлення допоміжного обладнання підприємств ТС конструкторсько-технологічними методами передбачає комплексний підхід, що поєднує аналіз технічного стану виробу, удосконалення його конструктивних елементів та оптимізацію технології ремонту.

На відміну від традиційного відновлення за принципом «відновлення початкових геометричних розмірів», сучасний підхід орієнтований на усунення конструктивних недоліків, які зумовили прискорене зношування, а також на підвищення експлуатаційної надійності шляхом раціонального перерозподілу навантажень, зміни матеріалів та впровадження захисних покриттів [2, 3].

Конструкторські методи передбачають модернізацію вузлів і деталей шляхом зміни посадок, введення змінних втулок, ремонтних розмірів, додаткових ребер жорсткості, ущільнювальних елементів або армувальних вставок. Технологічні методи включають механічну обробку з припуском під ремонтний розмір, наплавлення, напилення, застосування композиційних матеріалів, термічну та хіміко-термічну обробку, а також адитивні технології локального нарощування матеріалу. Такі підходи забезпечують не лише відновлення працездатності, але й формування нових експлуатаційних властивостей відновлених поверхонь [2].

Ефективність конструкторсько-технологічного відновлення визначається зниженням трудомісткості ремонтних операцій, підвищенням коефіцієнта готовності обладнання та продовженням міжремонтного ресурсу. Раціональне поєднання модернізаційних рішень і сучасних технологій обробки дозволяє мінімізувати простой підприємства технічного сервісу та забезпечити економічну доцільність відновлювальних заходів у межах життєвого циклу допоміжного обладнання.

Відновлення допоміжного обладнання підприємств ТС передбачає раціональне поєднання модернізаційних рішень і ресурсозберігаючих технологій обробки з урахуванням трудомісткості виконання ремонтних операцій [4, 5]. Оптимізація технологічних маршрутів відновлення дозволяє скоротити тривалість простою обладнання та підвищити коефіцієнт його готовності. Таким чином, урахування трудомісткості на етапі проектування відновлювальних заходів є визначальним чинником забезпечення економічної ефективності та подовження міжремонтного ресурсу допоміжного обладнання.

Системи водопостачання підприємств ТС характеризуються підвищеним рівнем експлуатаційних навантажень, зумовлених наявністю зважених часток, мастильно-охолоджувальних рідин, мийних реагентів та змінних температурних режимів. У таких умовах інтенсифікуються процеси електрохімічної корозії, абразивного зношування, кавітаційного руйнування насосного обладнання, а також деградація ущільнювальних елементів і запірної арматури. Тому сучасні ремонтно-відновлювальні технології мають бути орієнтовані не лише на локальне усунення дефектів, а й на формування довготривалого захисного бар'єра внутрішніх поверхонь трубопроводів і гідравлічного обладнання.

Одним із ефективних напрямів є застосування внутрішніх полімерних та полімер-композиційних покриттів для санації трубопроводів без їх повного демонтажу. Технології внутрішнього облицювання (in-situ lining) передбачають механічну або гідроабразивну підготовку поверхні з наступним нанесенням епоксидних та поліуретанових складів методом розпилення чи ін'єктування. Формування безшовного антикорозійного шару товщиною 0,5–3,0 мм дозволяє відновити гідравлічні характеристики трубопроводів, знизити коефіцієнт шорсткості та мінімізувати втрати напору.

Для локального ремонту тріщин, свищів та зон наскрізної корозії застосовуються бандажні системи на основі склотканин або вуглецевих волокон, імпрегнованих реакційноздатними смолами. Такі композитні муфти забезпечують підвищену міцність на розрив і стійкість до внутрішнього тиску до 2,5–4,0 МПа, що є достатнім для більшості систем виробничого водопостачання. Перевагою є можливість виконання робіт без зварювання та термічного впливу, що особливо важливо в умовах діючого підприємства.

Суттєве значення має відновлення насосного обладнання (корпусів, робочих коліс, дифузорів) із застосуванням зносостійких кераміко-наповнених епоксидних компаундів. Введення до складу композицій карбід кремнію, оксиду алюмінію, базальтового або кварцового наповнювача забезпечує підвищення твердості покриття та значне зростання опору гідроабразивному зношуванню. Додатково застосовуються еластомерні поліуретанові системи для зон, схильних до кавітації, що дозволяє поглинати енергію мікроударів і зменшувати швидкість руйнування металу основи.

До сучасних ремонтно-відновлювальних матеріалів, що доцільно використовувати у системах водопостачання підприємств технічного сервісу,



належать: модифіковані епоксидні компаунди з металевими (сталевими, алюмінієвими) та керамічними наповнювачами для відновлення посадкових поверхонь і корпусних деталей; поліуретанові та поліурейні композиції швидкого твердіння для гідроізоляції резервуарів і колекторів; поліуретанові гелі для герметизації мікротріщин і стиків; холодно-твердіючі композиції з нанодисперсними модифікаторами ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), що забезпечують підвищену адгезію до вологих поверхонь.

Перспективним напрямом є використання багат шарових систем «грунт–армувальний шар–захисне покриття», що дозволяють поєднати адгезійну міцність із підвищеною механічною та хімічною стійкістю. Такий підхід забезпечує пролонгацію міжремонтного ресурсу трубопроводів і насосного обладнання на 5–10 років залежно від режимів експлуатації.

Отже, інтеграція сучасних композиційних матеріалів у технології відновлення систем водопостачання підприємств ТС сприяє зниженню трудомісткості ремонтних робіт, мінімізації простоїв виробництва та підвищенню надійності функціонування інженерної інфраструктури. Застосування науково обґрунтованого підходу до вибору матеріалів і режимів їх нанесення є ключовою умовою забезпечення довговічності відновлених елементів системи.

#### Список літературних джерел

1. Новицький А. В., Карабиньoš С. С., Ружи́ло З. В. (2017). Організація сервісного виробництва. К.: НУБіПУ. 221 с.
2. Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Попик П. С. (2023). Надійність машин та обладнання. Ремонтівання машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 313 с.
3. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. № 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>
4. Новицький А. В. (2014). Моніторинг тенденцій розвитку системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. Вип. 2. С. 41–48.
5. Novytskyi, A., Melnyk, V., Bannyi, O., Bystryi, V., Stetsiuk, S. (2024). Research on influence of geometric parameters of engine body parts during repair process *Engineering for Rural Development*. pp. 811-816. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184886375&origin=resultslist>

УДК 621.878:621.436

## ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ФІЛЬТРІВ КАБІНИ НАВАНТАЖУВАЧІВ MANITOU

**В. М. ПІДВИСОЦЬКИЙ**, студент магістратури  
**А. В. НОВИЦЬКИЙ**, к.т.н., доцент

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
м. Київ, Україна*

В аграрній сфері широко використовуються універсальні телескопічні навантажувачі Manitou MLT 627 – це, призначений для обробки матеріалів у сільськогосподарських умовах [1]. Навантажувачі мають компактну конструкцію з потужним двигуном, здатним піднімати до 2,7 тони та досягати висоти до 5,5 метрів. Manitou MLT 627 оснащений просторою кабіною та вдосконаленою гідравлікою, забезпечує оптимальну маневреність, комфорт оператора та ефективність для виконання низки сільськогосподарських завдань, від завантаження та штабелювання до транспортування матеріалів.

Як зазначається в багатьох літературних джерелах [2, 3], сучасні фільтри салонів мобільних енергетичних засобів затримують до 99,9% частинок, що містяться в повітрі, включаючи найдрібніші, розмір яких знаходиться в межах 0,1–0,3 мкм.

Система кондиціонування кабіни навантажувача Manitou забезпечує очищення повітря з ефективністю 90–99 % для частинок розміром понад 5 мкм та 60–85 % для частинок 1–5 мкм, що відповідає стандартам фільтрації. Типова площа фільтруючої поверхні становить 0,15–0,35 м<sup>2</sup>, що забезпечує необхідну пропускну здатність повітря без значного підвищення опору. Номінальна витрата повітря через фільтр кабіни знаходиться в межах 150–300 м<sup>3</sup>/год., залежно від моделі навантажувача та режиму роботи системи HVAC.

У процесі експлуатації в умовах запиленості 0,5–2,0 мг/м<sup>3</sup> ресурс фільтра зменшується на 30–50 % порівняно зі стандартними умовами. При роботі у важких умовах (зернові склади, будівельні майданчики) концентрація пилу може досягати 5–10 мг/м<sup>3</sup>, що знижує ресурс фільтра до 200–300 мото-год.

Аналіз літературних джерел та досвід використання телескопічних навантажувачів показує, що регламентована періодичність заміни повітряних фільтрів залежить від умов експлуатації навантажувачів Manitou і становить:

- 500–1000 мото-год. – у нормальних умовах;
- 250–500 мото-год. – у запилених умовах;
- до 200–300 мото-год. – у надважких умовах експлуатації.

Збільшення опору повітряного фільтра системи кондиціонування призводить до зниження продуктивності вентилятора на 5–10 %, що негативно впливає на мікроклімат кабіни та умови роботи оператора. Погіршення

пропускної здатності фільтра знижує кратність повітрообміну в кабіні з нормативних що не відповідає санітарним вимогам.

При несвоєчасній заміні фільтра концентрація пилу в кабіні може перевищувати допустимі значення ( $2\text{--}4\text{ мг/м}^3$ ) у  $1,5\text{--}2$  рази, що негативно впливає на здоров'я оператора. Використання оригінальних фільтрів дозволяє підтримувати стабільну ефективність очищення протягом усього ресурсу, тоді як неоригінальні аналоги можуть втрачати до  $20\text{--}30\%$  ефективності вже на початкових етапах експлуатації.

Дослідження показують, що своєчасна заміна фільтра дозволяє підвищити ефективність роботи системи кондиціонування на  $10\text{--}15\%$  [4].

При формування комплексу заходів забезпечення надійності систем фільтрування транспортно-технологічних машин, автори статті [5] вказують на важливість володіння інформацією про витрати на ремонт виробів при відновленні працездатності.

**Висновки.** Повітряні фільтри кабіни навантажувачів Manitou характеризуються високою ефективністю очищення та оптимальними аеродинамічними параметрами, що забезпечують належний мікроклімат у кабіні.

Умови експлуатації істотно впливають на ресурс повітряного фільтра, скорочуючи його до  $200\text{--}300$  мото-год. у запиленому середовищі. Несвоєчасне заміна фільтра призводить до погіршення якості повітря, зниження ефективності вентиляції та підвищення навантаження на систему кондиціонування.

Обґрунтування регламентів заміни та використання якісних фільтруючих елементів є необхідною умовою забезпечення безпечної та ефективної експлуатації техніки.

#### Список використаних джерел

1. Macadam Equipment. (2020). Effective maintenance of your Manitou telehandler. Retrieved from <https://www.macadamequipment.com>
2. Heo, Ki Joon; Noh, Jung Woo; Kim, Yeonsang; Jung, Jae Hee. (2022). Comparison of the service life of an automotive cabin air filter under dust loading conditions of the laboratory environment and on-road driving. *Journal of Aerosol Science*. Volume 162. DOI 10.1016/j.jaerosci.2022.105972.
3. Novitskyi, Yu. (2024). Ensuring the reliability of filtration systems for transport and processing machines by redundancy. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 20(4), 85-95. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2024.85>.
4. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружи́ло З. В., Новицький Ю. А. (2018). Повітряні фільтри салонів транспортних засобів. *Agroexpert*. №2. ТОВ «Аграр Медієн Україна». С. 82–84.
5. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12 (2), pp. 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.



## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Секція 1 «Надійність і ремонтування технічних систем»</b>                                                                                                                         | стор.<br>8 |
| КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В КОНТЕКСТІ<br>ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО КУРСУ<br><i>Адамчук В. В.</i>                                | 9          |
| ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ТЕХНІКИ Й<br>ОБЛАДНАННЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ<br><i>Борак К. В., Руденко В. Г., Веремій Т. Б., Хіміч О., Полінкевич С. В.</i>           | 11         |
| ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА<br>ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ<br>ЕЛЕКТРОІСКРОВОЮ ОБРОБКОЮ<br><i>Автухов А. К., Карпілович І. О.</i>        | 14         |
| МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНЕ ТА ІНВЕСТИЦІЙНЕ<br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ<br><i>Захарчук О. В.</i>                                                                        | 16         |
| ТИПИ ОЧИСНИКІВ КОРЕНЕБУЛЬБОПОЛОДІВ ТА АНАЛІЗ<br>ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ<br><i>Ружило З. В.</i>                                                                                        | 18         |
| МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ<br>ЗМІШУВАЧІВ-КОРМОРОЗДАВАЧІВ З УРАХУВАННЯМ<br>СТРАТЕГІЙ ЗБЕРІГАННЯ, РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ТА<br>БЕЗВІДМОВНОСТІ<br><i>Новицький А. В.</i> | 23         |
| ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ<br>ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ АГРАРНОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ<br>БІОПАЛИВ І ВОДНЮ<br><i>Мельник В., Лісецький В., Плужніков О.</i>                       | 26         |
| ВПЛИВ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ НА ЕКОНОМІЧНУ<br>ЕФЕКТИВНІСТЬ АГРОПІДПРИЄМСТВ<br><i>Семцов В. М.</i>                                                                                | 28         |



|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРО ВЕЛИКІ ВИБІРКИ ВИПАДКОВИХ ВЕКТОРІВ В $R^N$ ІЗ<br>СКІНЧЕННО-ЗНАЧНИМИ КООРДИНАТАМИ<br><i>Ружило М. Я</i>                                                                                | 31 |
| LOGISTIC MANAGEMENT OF OIL FILTER RESOURCES IN<br>INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATION SYSTEMS:<br>CURRENT APPROACHES AND PERSPECTIVES<br><i>Melnyk V., Novitskiy A., Lisetskyi V.</i>    | 33 |
| КУЛЬТИВАТОР КВАНТ-7 ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ<br>ҐРУНТУ В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ<br><i>Адамчук В. В., Антонець А. С., Василенко М. О., Грицишин М. І.,<br/>Буслаєв Д. О.</i>         | 35 |
| ACHIEVING CLIMATE NEUTRALITY IN AGRICULTURAL<br>MACHINERY ENGINEERING: STRATEGIC, TECHNOLOGICAL,<br>AND INSTITUTIONAL DIMENSIONS FOR UKRAINE<br><i>Melnyk V., Melnyk V., Lisetskyi V.</i> | 37 |
| THE IMPACT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES ON<br>THE FINANCIAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF PROJECTS<br><i>Melnyk V., Melnyk V., Lisetskyi V.</i>                                       | 40 |
| CONSTRUCTION WASTE RECYCLING AS A TOOL FOR<br>IMPLEMENTING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES IN THE<br>PROCESS OF SUSTAINABLE RECOVERY OF UKRAINE<br><i>Bastylo V., Melnyk V.</i>               | 42 |
| A COMPETENCY-BASED APPROACH TO THE INTEGRATION OF<br>SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECODSIGN INTO<br>ENGINEERING EDUCATION<br><i>Melnyk V., Melnyk V., Lisetskyi V.</i>                      | 46 |
| ІНВЕСТИЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ<br><i>Кондратюк В. В., Захарчук О. В.</i>                                                                        | 48 |
| АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ<br>ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА НА ЕЛЕВАТОРАХ<br><i>Волянський О. В.</i>                                                                                   | 51 |

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ЗАМІНИ ПОВІТРЯНИХ<br>ФІЛЬТРІВ ДВИГУНІВ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ<br>НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЇХ НАДІЙНОСТІ<br><i>Новицький Ю. А.</i>                                         | 53 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КАРДАННИХ ВАЛІВ<br>ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ТА<br>ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ЇХ ТЕХНІЧНОГО<br>ОБСЛУГОВУВАННЯ<br><i>Новицький А. В., Наконечний Ю. М., Дяченко П. І.</i> | 55 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕМБРАН МЕМБРАННОГО<br>ВАКУУМНОГО НАСОСА<br><i>Ружило З. В., Мрачковський О. Ю.</i>                                                                                          | 58 |
| АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ РАДІАЛЬНОГО ЗАЗОРА В<br>ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ<br><i>Кесорецьких К. В., Ревенко Ю. І.</i>                                                                                           | 60 |
| INCREASING THE RELIABILITY OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM<br><i>Shevlyuga R., Revenko Y.</i>                                                                                                               | 63 |
| THE RELEVANCE OF IMPROVING THE DIAGNOSTICS OF FUEL<br>INJECTORS OF DIESEL POWER PLANTS<br><i>Pavlishin O., Revenko Y.</i>                                                                             | 65 |
| ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ<br>МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ<br><i>Вінцовський С. А.</i>                                                             | 66 |
| ФОРМУВАННЯ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА<br>(ДПП) У СФЕРІ ЗЕРНОВОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ<br><i>Коваленко А. В.</i>                                                                                      | 69 |
| МУНІЦИПАЛЬНА СТАТИСТИКА В УКРАЇНІ ТА В<br>ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ: СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ, ПРОБЛЕМИ<br>ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ<br><i>Новицька О.А.</i>                                                      | 73 |

|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ<br>ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ<br>ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ТЕХНІКИ<br><i>Попик П. С.</i>                                                   | 75 |
| ТРАНСФОРМАЦІЯ РИНКУ ОВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ УКРАЇНИ В<br>УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ<br><i>Навроцький Я. Ф., Петров В.М., Яренко С.О., Кравченко М.А.</i>                                                   | 77 |
| БЕЗВІДМОВНІСТЬ РОБОТИ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ЯК<br>КЛЮЧОВИЙ ЧИННИК ЕФЕКТИВНОСТІ ПОСІВНОЇ КАМПАНІЇ<br><i>Троян Є.В., Тарушко К.В., Попик П. С.</i>                                                   | 80 |
| ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ<br>БАКЛАЖАНІВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПЛАНЕТАРНОЇ<br>УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПЛОДІВ<br><i>Полянський П. М., Іванов Г. О., Ноженко А. Ю., Марикін О. О.</i> | 82 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ<br>РЕДУКТОРА ВАЛА ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТРАКТОРІВ ХТЗ<br><i>Сокол Д. С., Сиволапов В. А.</i>                                                          | 83 |
| ВІДНОВЛЕННЯ БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНИХ<br>ДВИГУНІВ ЗВАРЮВАННЯМ<br><i>Кузьменко Я. А., Сиволапов В. А.</i>                                                                                   | 87 |
| ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ<br>ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН<br><i>Грабар І. Г., Міненко С. В., Бистрицький Б. П., Мельник Р. П.,<br/>Кузнєцов А. А.</i>                                       | 90 |
| ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МОБІЛЬНОЇ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ<br><i>Войналович О. В., Писаренко Г. Г., Майло А. М., Бялонович А. В.</i>                                           | 92 |
| МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ<br>ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН<br><i>Борак К. В., Шевчук О. А., Федорчук А. О., А.В. Коплич,<br/>Словінський А. Й., Юрченко Б. Ю</i>                   | 94 |

|                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СПОСОБИ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ<br>ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ<br><i>Білецький В. Р., Савченко В. М., Rogozin O. G., Терещенко В. В.,<br/>Пеценко А. В.</i>                                               | 99  |
| НАРАЛЬНИКОВІ СОШНИКИ СТЕРНЕВИХ СІВАЛОК:<br>КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПОШКОДЖЕННЯ ТА<br>ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ<br><i>Харьковський І. С.</i>                                                                      | 104 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ<br>МТА З АКТИВНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ<br><i>Юраш А. П.</i>                                                                                                              | 106 |
| ДЕМПФУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ<br>ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У<br>ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДДАХ<br><i>Храмов М. С., Лимар О. О.</i>                                                                         | 108 |
| ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИННО-<br>ТРАКТОРНОГО ПАРКУ ПІД ВПЛИВОМ ЦИФРОВІЗАЦІЇ<br>СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА<br><i>Боровський В. М., Красіцький Д. Р., Іванченко В. В.,<br/>Данилюк Н. О., Леонець О. А.</i> | 111 |
| ГАРАНТІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ЯК<br>СКЛАДОВА СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА<br>ПІСЛЯПРОДАЖНОЇ ПІДТРИМКИ<br><i>Новицький А. В., Бащук Р. В.</i>                                                         | 115 |
| БЕЗПЕКА І ЗДОРОВ'Я ПРАЦІВНИКІВ, ЗАЙНЯТИХ РЕМОНТОМ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН<br><i>Марчишина Є. І., Білько Є. Д.</i>                                                                                           | 118 |
| HISTORY OF DEVELOPMENT AND TRENDS IN UNDERWATER<br>WELDING<br><i>Нерук S.</i>                                                                                                                                      | 120 |
| СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТІЛЧАСТИХ<br>ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ<br><i>Дерев'янка Д. А., Отвивінський В. А., Олійник А. В.,<br/>Кравченко А. Ю., Ткачук Б. Р.</i>                                                 | 123 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| APPLICATION OF PM <sup>2</sup> IN ENVIRONMENTAL PROJECTS: TOOLS, CHALLENGES, AND PRACTICAL EXAMPLES<br><i>Melnyk V</i>                                                                      | 126 |
| ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ<br>ЗНІМАЧІВ ПІДШИПНИКІВ ІЗ ФІКСАЦІЄЮ ЛАП<br>ЗАХОПЛЮВАЧІВ<br><i>Рис В. І., Шарибура А. О., Чухрай В. Є.</i>                                          | 131 |
| ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШИНАМИ РУХОМОГО<br>СКЛАДУ АВТОПІДПРИЄМСТВ<br><i>Новицький А. В., Ружило А. З.</i>                                                                                  | 134 |
| ВПЛИВ МАЙСТЕРНОСТІ ОПЕРАТОРА КЕРУВАТИ МАШИННО-<br>ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ НА ЙОГО ПРОДУКТИВНІСТЬ<br><i>Потик П. С.</i>                                                                         | 136 |
| ДОСВІД ПЕДАГОГІЧНОЇ РОБОТИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ<br>АСПІРАНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ В НУБІП<br>УКРАЇНИ<br><i>Роговський І. Л., Ружило З. В., Вельгас О. В.</i>                                | 138 |
| ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br>МІСТА КИЄВА<br><i>Каліначенко Д. Ю.</i>                                                                                                      | 140 |
| АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО<br>ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН<br>ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ<br><i>Руденко В. Г., Мельник О. П., Зубачик Н. М., Іщук Д. І.</i> | 142 |
| <b>Секція 2 «Прикладна механіка»</b>                                                                                                                                                        | 146 |
| ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СХЕМИ ВІБРАЦІЙНОГО<br>ВИКОПУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КОРЕНЕПЛІДНИХ<br>КУЛЬТУР (НА ПРИКЛАДІ МОРКВИ)<br><i>Булгаков В. М., Поліщук Д. С.</i>                        | 147 |
| THEORETICAL STUDY OF A PNEUMATIC DEVICE FOR PRECISE<br>APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS BY AN AGRO-ROBOT<br><i>Olt J., Lillerand T., Ihnatiev Y.</i>                                      | 148 |



|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДУ СТОЛОВОГО<br>БУРЯКА СПІРАЛЬНИМ ОЧИСНИКОМ<br><i>Головач І. В., Мартинюк В. В.</i>                                                                        | 151 |
| ЩОДО СТВОРЕННЯ В УКРАЇНІ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО<br>ІНСТИТУТУ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА<br><i>Булгакова О. В.</i>                                                                   | 152 |
| РИЗИКИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕРЖАВІЮЧОЇ<br>СТАЛІ Х10CrNi18-8 ПРИ СУМІСНОЇ ДІЇ ДИНАМІЧНИХ<br>НЕЗРІВНОВАЖЕНИХ ПРОЦЕСІВ І КРИОГЕННОГО<br>ОХОЛОДЖЕННЯ<br><i>Чаусов М., Шманенко В.</i> | 155 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ НА ПРИВІДНОМУ<br>ВАЛІ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ГНУЧКИМ ГВИНТОВИМ<br>КОНВЕЄРОМ<br><i>Троханяк О. М.</i>                                                           | 157 |
| ОБГРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ<br>КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАНІПУЛЯЦІЙНОЇ<br>РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ<br><i>Черниш О. М.</i>                                                           | 158 |
| ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ ТА ВІБРОЗАХИСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ<br>ПЕРІОДИЧНИХ БАЛОЧНИХ СИСТЕМ У СКЛАДІ ТРИМАЛЬНИХ<br>КОНСТРУКЦІЙ СПОРУД<br><i>Куценко А. Г., Куценко О. Г.</i>                           | 161 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ЗЧИЩЕННЯ<br>ПОШКОДЖЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ У СЕРЕДИНІ ВИРВИ<br><i>Троханяк О. М., Ковальчук С. І.</i>                                                          | 163 |
| МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПРОВЕДЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ<br>ВИРВ ВІД ВИБУХІВ<br><i>Сергєєва Н. В.</i>                                                                                                   | 164 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ<br>ДО ПРОФЕСІЙНОГО САМОРОЗВИТКУ НА ОСНОВІ<br>ДІАГНОСТИЧНИХ МЕТОДИК<br><i>Бондар М. М.</i>                                               | 166 |

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗДІЙСНЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ<br>ПОШКОДЖЕНИХ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО<br>ПРИЗНАЧЕННЯ<br><i>Ковальчук С. І.</i>                       | 168 |
| ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ НА<br>ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ<br><i>Будзанівський М. І.</i>                                                        | 170 |
| МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ШКОДИ ТА<br>ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ ЗЕМЛЯМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО<br>ПРИЗНАЧЕННЯ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ<br><i>Мартинюк В. В.</i> | 171 |
| RESEARCH IN DYNAMIC TRANSITIONAL PROCESSES OF<br>FUNCTIONING OF COMBINE HARVESTER HYDRAULIC DRIVES<br><i>Yaremenko V.</i>                                 | 172 |
| ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОПУВАЧІВ<br>РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ<br><i>Поліщук Д. С.</i>                                          | 175 |
| МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ<br>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНОГО<br>КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ ЦИКОРИЮ<br><i>Труханська О. О., Гадайчук М. Ю.</i>      | 178 |
| <b>Секція 3 «Надійність технологічних систем у рослинництві»</b>                                                                                          | 182 |
| REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF PNEUMATIC<br>GRAIN SEPARATOR OPERATION<br><i>Koban Ye. M., Vasylovskyi O. M.</i>                                       | 183 |
| ПРОДУКТИВНІСТЬ КОМБАЙНА ЗАЛЕЖНО<br>ВІД ВТРАТ ЗЕРНА ЗА МОЛОТАРКОЮ<br><i>Надточій О. В.</i>                                                                 | 185 |
| НАЯВНІСТЬ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН В ҐРУНТІ ПРИ<br>ВИЗНАЧЕННІ НОРМ ВНЕСЕННЯ МД<br><i>Надточій О. В.</i>                                                           | 188 |

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CHOOSING A COULTER FOR A ROW CROP SEEDER<br><i>Vasylovskaya K., Vasylovskaya M.</i>                                                                                                                  | 191 |
| ЗАКОНОМІРНОСТІ ЦИФРОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ<br>КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ<br><i>Степаненко С. П., Кузьмич А. Я.</i>                                                                                      | 194 |
| ЗАЛЕЖНІСТЬ МАСИ 1000 ЗЕРЕН ПЕРШОЇ ФРАКЦІЇ ВІД<br>ПРОДУКТИВНОСТІ ВІБРОПНЕВМОІМПУЛЬСНОЇ МАШИНИ<br><i>Волик Д. А., Попадюк І. С., Мельник В. А.</i>                                                     | 196 |
| ОЦІНКИ ЗА РАНГОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН<br><i>Надточій О. В.</i>                                                                                                                                | 199 |
| ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ<br>ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИВОДІВ ХОДОВИХ ОСЕЙ ЗЕРНОВИХ<br>СІВАЛОК І ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ<br>НАДІЙНОСТІ ТА ЗНИЖЕННЯ БУКСУВАННЯ РУШІВ<br><i>Макогін О. О.</i> | 201 |
| МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДИФУЗІЙНИХ<br>ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРООЧИЩЕННЯ<br><i>Котов Б. І., Степаненко С. П., Калініченко Р. А.</i>                                                          | 202 |
| ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛО- ТА МАСООБМІНУ ПРИ СУШІННІ<br>КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ В КОМБІНОВАНОМУ<br>АЕРОДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ<br><i>Швидя В. О., Степаненко С. П.</i>                                               | 207 |
| ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ<br>І ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ В ПНЕВМОМЕРЕЖАХ<br><i>Степаненко С. П., Кузьмич А. Я., Волик Д. А., Попадюк І. С.</i>                                     | 210 |
| ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ YOLO11 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ<br>ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ<br><i>Степаненко С. П., Кузьмич А. Я., Попадюк І. С., Волик Д. А.</i>                                          | 215 |
| ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЧЕРГИ НА<br>ОВОЧЕСХОВИЩАХ В УНІВЕРСАЛЬНІЙ МОДЕЛІ МАСОВОГО<br>ОБСЛУГОВУВАННЯ<br><i>Степаненко С. П., Кудринцевський Р. Б.</i>                                      | 218 |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМНОГО<br>СУШІННЯ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ З ПЕРІОДИЧНИМ<br>ВІДЛЕЖУВАННЯМ<br><i>Швидя В. О., Анеляк М. М.</i>                                            | 221 |
| ВПЛИВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВОЇ БОРОНИ НА<br>ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ<br><i>Теслюк В. В., Вечера О. М., Казьмірук А. М.</i>                                                    | 224 |
| ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА<br>АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ПРИ ВИРОЩУВАННІ<br>КАРТОПЛІ<br><i>Дев'ятко О. С., Денисенко М. І., Вольський В. А., Донченко Б. В.</i> | 226 |
| МОЖЛИВОСТІ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ТА ШЛЯХИ ЇХ<br>ВДОСКОНАЛЕННЯ<br><i>Дев'ятко О. С., Денисенко М. І., Вольський В. А., Гоменюк Д. П.</i>                                         | 227 |
| ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ<br>ҐРУНТУ ПІД ОЗИМИЙ РІПАК<br><i>Кривобок В. В., Мартишко В. М.</i>                                                                 | 229 |
| АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИСІВНИХ<br>АПАРАТІВ СУЧАСНИХ СІВАЛОК<br><i>Павлішин О. О., Мартишко В. М.</i>                                                                  | 230 |
| АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ МЕХАНІЗАЦІЇ ГРЕБЕНЕВОЇ<br>ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ ДО СІВБИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ<br><i>Теслюк В. В., Голуб В. В., Ікальчик М. І.</i>                                     | 231 |
| АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ<br><i>Теслюк В. В., Ікальчик М. І., Шевчук А. В.</i>                                                                                    | 234 |
| ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ СМУГОВОГО ОБПРИСКУВАННЯ<br>РОСЛИН СОНЯШНИКУ<br><i>Теслюк В. В., Ікальчик М. І., Науменко І. П.</i>                                                           | 237 |
| АНАЛІЗ Й УДОСКОНАЛЕННЯ ПОСІВНОЇ СЕКЦІЇ ЗЕРНОВОЇ<br>СІВАЛКИ<br><i>Ікальчик М. І., Атаманюк П. Д., Корнійчук М. А.</i>                                                               | 240 |

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ОБПРИСКУВАЧ ОП-2000 З<br>КОМБІНОВАНИМИ РОЗПИЛЮЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ<br><i>Войтюк Д. Г., Онищенко Б. В.</i>                                                 | 243 |
| ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПЛЮЩІЛКИ САМОХІДНОЇ<br>КОСАРКИ Є-303<br><i>Кузьменко В. Ф., Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.</i>                                                       | 245 |
| ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ РОЗПОДІЛЬНО-<br>ДОЗУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ<br>ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ<br><i>Онищенко В. Б., Адамчук О. В.</i>     | 246 |
| ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВИХ<br>РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ<br>МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ<br><i>Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.</i>                | 249 |
| УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРИХЛЮВАЧА-ВИРІВНЮВАЧА<br>ВОРОХУ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ<br><i>Герук С. М., Міненко С. В., Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.,<br/>Мельник</i>            | 251 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТАЦІЙНОГО<br>РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН<br><i>Кузьменко В. Ф., Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.</i>                          | 254 |
| ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У<br>ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН<br><i>Вечера О. М., Теслюк Б. В., Куянов В. В.</i>                              | 256 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛЬНО-ДОЗУЮЧИЙ<br>ПРИСТРІЙ МАШИН ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ<br>МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ<br><i>Ратушний В. В., Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.</i> | 260 |
| ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗЕНОВОГО<br>КУЛЬТИВАТОРА<br><i>Онищенко В. Б., Онищенко Б. В.</i>                                                                       | 262 |
| <b>Секція 4 «Надійність технологічних систем у тваринництві»</b>                                                                                                        | 265 |

|                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| REGULATORY AND TECHNOLOGICAL PREREQUISITES<br>FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE BIOFUEL<br>BASED ON SEWAGE SLUDGE AND GRAIN STRAW<br><i>Bratishko V. V., Khmelovskyi V. S., Rebenko V. I., Kostiuk S. Yu.</i> | 266 |
| КОРНАЖ – ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ<br>МОЛОЧНОГО ТВАРИННИЦТВА<br><i>Хмельовський В. С.</i>                                                                                                       | 268 |
| ОГЛЯД ЗАСОБІВ КОМФОРТУ КОРІВ У ЗОНІ ВІДПОЧИНКУ<br><i>Заболотько О. О., Бурлака Н. В.</i>                                                                                                                    | 270 |
| ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА<br>БІОГАЗУ ІЗ ОСАДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ<br>АКВАКУЛЬТУРИ<br><i>Голуб Г. А., Яременко О. А.</i>                                                                | 273 |
| ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОЇЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ<br>ДОЯРАМИ<br><i>Ребенко В. І.</i>                                                                                                                             | 277 |
| ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА<br>ДО ЗГОДОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИМ<br>ТВАРИНАМ<br><i>Монько В. Р., Потапова С. Є.</i>                                                                 | 280 |
| УМОВИ ПРАЦІ ТА РИЗИКИ ТРАВМАТИЗМУ ПРАЦІВНИКІВ<br>МАШИНОБУДУВАННЯ<br><i>Марчишина Є. І.</i>                                                                                                                  | 283 |
| ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА<br><i>Рапавий Н., Ребенко В. І.</i>                                                                                                                               | 285 |
| ПРОФЕСІЙНЕ ВИГОРЯННЯ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ<br>ПРАЦІВНИКІВ ЗВО<br><i>Марчишина Є. І., Білько Т. О.</i>                                                                                                        | 288 |
| УДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСУВАЛЬНОГО ВУЗЛА ПЛОСКО-<br>МАТРИЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА БІОМАСИ<br><i>Єременко О. І., Фомін С. І., Криворучко Н. О.</i>                                                                         | 290 |



|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТРАКТОРИСТІВ ВІД НАДМІРНОГО<br>ВПЛИВУ ВИРОБНИЧОЇ ВІБРАЦІЇ<br><i>Марчишина Є. І.</i>                                                     | 293 |
| <b>Секція 5 «Конструювання машин і обладнання»</b>                                                                                                          | 295 |
| ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА<br>ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА<br><i>Матюшенко А. В., Ловейкін В. С., Ляшко А. П.</i>                                  | 296 |
| ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ<br>РУХОМ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА В ОБМЕЖЕНОМУ<br>РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ<br><i>Ромасевич Ю. О., Великоіваненко Д. І.</i> | 297 |
| ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КОВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА ДЛЯ<br>ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА<br><i>Цись Є. Л., Ловейкін В. С., Ляшко А. П.</i>                                        | 300 |
| ПОБУДОВА НАБЛИЖЕНОЇ РОЗГОРТКИ ГВИНТОПОДІБНОГО<br>НОЖА<br><i>Пилипака С. Ф., Несвідомін А. В.</i>                                                            | 301 |
| ПІДХОДИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ МАНІПУЛЯЦІЙНИХ<br>СИСТЕМ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ<br><i>Сподоба О. О., Сподоба М. О.</i>                                            | 303 |
| ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ДВОЯРУСНОЇ ЛОПАТЕВОЇ<br>МЕХАНІЧНОЇ МІШАЛКИ<br><i>Сподоба М. О., Сподоба О. О.</i>                                                       | 304 |
| ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО<br>ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ<br>АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА<br><i>Крушельницький В. В., Лінник В. А.</i> | 306 |
| ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ<br>РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН<br><i>Паньків М. Р., Дубчак Н. А.</i>                                | 308 |
| АНАЛІЗ РУХУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ<br>ТРАСІ<br><i>Барановський В. М.</i>                                                                        | 311 |

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНО-РЕЄСТРУЮЧОГО<br>ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ<br><i>Сподоба М. О., Сподоба О. О.</i>                            | 314 |
| БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ<br>ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКОВАННЯ ТРЕЛЮВАЛЬНИХ<br>МАШИН В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ<br><i>Бакай Б. Я., Дейнека М. А.</i> | 317 |
| АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ<br>БАШТОВОГО КРАНА<br><i>Квасницька К. Г., Ловейкін В. С., Стехно О. В.</i>                                         | 320 |
| МАЛОГАБАРИТНІ БІОГАЗОВІ РЕАКТОРИ, ШЛЯХ ДО<br>ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ<br><i>Сподоба М. О., Сподоба О. О.</i>                                  | 321 |
| ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ (РАНІШЕ — СЬОГОДЕННЯ) РОЛІ<br>ВИКЛАДАЧА У ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН<br><i>Несвідомін В. М.</i>                                               | 322 |
| РОБОТИЗОВАНІ ПЛАТФОРМИ В СІЛЬСЬКОМУ<br>ГОСПОДАРСТВІ: ВІД АВТОНОМНИХ ТРАКТОРІВ ДО МАЛИХ<br>ПОЛЬОВИХ РОБОТІВ<br><i>Сисоліна І. П.</i>                         | 326 |
| ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ<br>ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРМІВ ВРХ<br><i>Флорчук М. П., Ловейкін В. С., Ляшко А. П.</i>                                | 327 |
| ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМУ<br>ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНА<br><i>Мухойд А. С., Ловейкін В. С., Ляшко А. П.</i>                                      | 328 |
| ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ШНЕКОВОГО<br>ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ<br><i>Карп І. В.</i>                                                     | 329 |
| <b>Секція 6 «Новітні матеріали і технології в<br/>сільськогосподарському машинобудуванні»</b>                                                               | 333 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TECHNOLOGY FOR OBTAINING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TRACE ELEMENT PREPARATIONS FOR CROP PRODUCTION BY ELECTRIC SPARK TREATMENT OF METALS<br><i>Lopatko K. G., Zazymko O. V.</i> | 334 |
| ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО З ДОБАВКАМИ<br><i>Герук С. М., Хоменко С. М.</i>                                                                              | 335 |
| НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ<br><i>Автухов А. К., Ковалевський Є. В.</i>                                                    | 339 |
| СТАЛІ ЛЕГОВАНІ ВАНАДІЄМ<br><i>Похиленко Г. М.</i>                                                                                                                             | 340 |
| ВИКОРИСТАННЯ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ У МОТОРНИХ МАСЛАХ<br><i>Лопатько К. Г., Мручок М. Ю., Соснов В. С.</i>                                                                      | 342 |
| УКРАЇНСЬКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ: СТРАТЕГІЯ ЗРОСТАННЯ В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ КОНТЕКСТІ<br><i>Самофалова М. О.</i>                                                                          | 343 |
| РЕГЕНЕРАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ОЛИВ ЕНЕРГОСИСТЕМ АГРОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ ПОРИСТИМИ ПТФЕ<br><i>Калюжний О. Б., Марченко М. М., Платков В. Я.</i>                              | 345 |
| ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ДЕФЕКТІВ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ВАЛКІВ ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВОЇ ПРОКАТКИ<br><i>Автухов А. К., Корнев О. С.</i>                                                 | 348 |
| ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ СТАНДАРТІВ НА КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ В АГРОМАШИНОБУДУВАННІ В УМОВАХ ЄЗК<br><i>Стрикун Р., Мельник В.</i>                                                   | 350 |
| МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МОЛОТКОВИХ МЛИНІВ<br><i>Похиленко Г. М.</i>                                                                                                                     | 352 |
| ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЕВТЕКТОЇДНИХ СТАЛЕЙ<br><i>Автухов А. К., Борисенко О. С.</i>                              | 353 |

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ З ВТОРИННИХ МЕТАЛІВ З<br>УРАХУВАННЯМ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ<br><i>Гнилоскуренко С. В., Стригун В. О., Волошин Н. М., Чаплигіна Л. С.</i>                                             | 354 |
| УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПРЯМОВАНОЇ<br>КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ<br>ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ<br><i>Квасницька К. Г., Нога В. О., Божко В. О.</i>                                    | 356 |
| ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КАРБОНОВИХ НАНОТРУБОК<br><i>Паньків В. Р.</i>                                                                                                                                            | 357 |
| МЕТАЛОВМІСНІ НАНОЧАСТИНКИ В АГРОТЕХНОЛОГІЯХ:<br>ПЕРЕДПОСІВНИЙ АСПЕКТ<br><i>Винарчук К.</i>                                                                                                                 | 360 |
| APPLICATION OF POWDER METALLURGY METHODS FOR<br>PRODUCING $Fe_3Al$ -BASED ALLOYS WITH ENHANCED HEAT<br>RESISTANCE<br><i>Tolochyn O. I., Tolochyna O. V.</i>                                                | 362 |
| МЕХАНІЗМИ ЗНОСУ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН ПРИ<br>МЕТАЛООБРОБЦІ<br><i>Похиленко Г. М.</i>                                                                                                                           | 364 |
| <b>Секція 7 «Надійність будівель, споруд і<br/>технічних систем у будівництві»</b>                                                                                                                         | 366 |
| DETERMINATION OF THE COLLAPSE PROBABLE RISK BASED<br>ON COMPARISON OF THE STRESS STRAIN STATE OF THE<br>BUILDING FRAME FROM VARIATIONS BY TECHNOLOGICAL<br>LOADS<br><i>Bakulin Ye. A., Karpushyn O. O.</i> | 367 |
| COMPREHENSIVE HYDRO- AND SOUND INSULATION OF<br>INTER-FLOOR SLABS: TECHNICAL ASPECTS AND<br>OPERATIONAL ADVANTAGES OF COMBINED ROLL<br>MATERIALS<br><i>Bakulin V. M., Branitska O. V.</i>                  | 370 |

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ENGINEERING SURVEYS FOR WATER SUPPLY SYSTEMS<br>OF AGRICULTURAL ENTERPRISES<br><i>Bakulin Ye. A., Pryntsypal O. Ye.</i>                                   | 373 |
| INNOVATIVE STRUCTURAL TECHNOLOGIES IN<br>CONSTRUCTION<br><i>Bakulin Ye. A., Fedorenko I. V.</i>                                                           | 376 |
| ORGANIZATION OF HOT WATER SUPPLY AND HEATING WITH<br>VACUUM SOLAR COLLECTOR APRICUS ETC<br><i>Bakulina V. M., Horbachenko M. V.</i>                       | 379 |
| АРХІТЕКТУРНЕ РІШЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ<br>СТРУКТУРИ ОДНОПОВЕРХОВИХ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ<br>ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ<br><i>Бакулін Є. А., Шевчук М. В.</i>      | 382 |
| STABILITY STUDY OF COASTAL LANDSLIDE SLOPES<br>AT THE CONSTRUCTION SITE<br><i>Bakulin Ye. A., Sukhanov S. S.</i>                                          | 384 |
| ВІДНОВЛЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК<br>ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ<br>В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ<br><i>Костира Н. О., Новікова В. А.</i> | 388 |
| ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ<br>КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ<br><i>Костира Н. О., Павлюченко Р. О.</i>                                | 390 |
| ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КОЛОН ПРИ ПОШКОДЖЕНІ<br>ВНАСЛІДОК ЕПІЗОДИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ<br><i>Костира Н. О., Дмитренко А. А.</i>                                   | 393 |
| ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПРИ ПОШКОДЖЕНІ<br>В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ<br><i>Костира Н. О., Горбаченко М. В.</i>                                          | 395 |
| ВОГНЕЗАХИСТ СТАЛЕВИХ ТА БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ<br><i>Бакуліна В. М., Павлюченко Р. О.</i>                                                                   | 398 |

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ<br>ОДНОПОВЕРХОВОГО МОДУЛЬНОГО БУДИНКУ<br><i>Мар'єнков М. Г., Хименко Б. О., Жемелінський І. В.</i>                                                                             | 400 |
| ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА КОНСТРУКЦІЇ СТАНЦІЇ<br>МЕТРОПОЛІТЕНУ ВІД ПОТЯГІВ ТА ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬ<br><i>Мар'єнков<sup>1</sup> М. Г., Бабік<sup>2</sup> К. М., Фрідліб<sup>3</sup> Є. В.</i>                    | 403 |
| МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ПОСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ<br>ЗГИНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ<br><i>Яковенко І. А., Дмитренко Є. А., Мельничук І. М.</i>                                                  | 407 |
| ТЕХНОЛОГІЇ ВОГНЕЗАХИСТУ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ<br>НА БАЗІ СИСТЕМ АММОКОТЕ<br><i>Бакуліна В. М., Козлівський Є. І.</i>                                                                                 | 412 |
| ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ПІДКРАНОВИХ<br>БАЛОК В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ<br><i>Костира Н. О., Браніцька О. В.</i>                                                                         | 415 |
| МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ<br>СЕЙСМОЗАХИСТУ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З<br>ВИКОРИСТАННЯМ ГУМОВИХ ОПОР<br><i>Мар'єнков<sup>1</sup> М. Г., Жемелінський<sup>2</sup> І. В., Карпенко О. М.</i> | 419 |
| ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НЕСУЧИХ<br>КОНСТРУКЦІЙ У БУДІВНИЦТВІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br>ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ<br><i>Бакуліна<sup>1</sup> В. М., Дмитренко А. А.</i>                                         | 423 |
| ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ<br>ЕКСПЛУАТОВАНИХ ПОКРІВЕЛЬ<br><i>Бакулін<sup>1</sup> Є. А., Музичко<sup>2</sup> М. В.</i>                                                             | 427 |
| ЗАЦІЯ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК<br>СЛОВИХ ЛІФТІВ АЛІМАК (СЕРІЇ SE, SE-H, SE-EX)<br><i>Бакуліна<sup>1</sup> В. М., Новікова<sup>2</sup> В. А.</i>                                                            | 430 |
| СЕЙСМОЗАХИСТ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ<br>З ВИКОРИСТАННЯМ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ІЗОЛЯТОРІВ<br><i>Мар'єнков<sup>1</sup> М. Г., Фурса Д. О., Лісогор В. В.</i>                                                  | 433 |



|                                                                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Секція 8 «Надійність транспортних систем АПК»</b>                                                                                                                 | <b>438</b> |
| ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ПОСТАЧАНЬ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ НАДІЙНОСТІ<br><i>Загурський О. М.</i>                                                                                 | 439        |
| ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЧЕПІВ-БУНКЕРІВ-НАКОПИЧУВАЧІВ ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР<br><i>Дьомін О. А., Глібовський Н. А.</i>              | 441        |
| ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІКО-ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЦІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ<br><i>Загурський О. М.</i>                                                          | 443        |
| СУЧАСНИЙ СТАН РИНКУ ВЖИВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ<br><i>Бащук Л. В.</i>                                                                                    | 446        |
| ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ШИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ<br><i>Куликівський В. Л., Белявський Р. С., Гарманчук Р. С.,<br/>А. В. Зелінський</i>                       | 448        |
| КОНЦЕПЦІЯ "СУХОГО ПОРТУ"<br><i>Хоненко М. В., Загурський О. М.</i>                                                                                                   | 451        |
| ДЕРЕВ'ЯНІ ДОРОЖНІ ЗНАКИ ЯК ЧАСТИНА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ<br><i>Корінчук М. В., Колосок І. О.</i>                                                                | 454        |
| СТРАТЕГІЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ДЛЯ УКРАЇНИ<br><i>Кравчук А. С., Колосок І. О.</i>                                                                                 | 455        |
| НОВА СИСТЕМА ПОКАРАНЬ ДЛЯ ВОДІЇВ<br><i>Гутнік А. М., Колосок І. О.</i>                                                                                               | 457        |
| АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА АВАРІЙНОСТІ ЗА 9 МІСЯЦІВ 2025 РОКУ В УКРАЇНІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ<br><i>Клімов М. С., Колосок І. О.</i> | 459        |

|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА АВАРІЙНОСТІ ЗА 9<br>МІСЯЦІВ 2025 РОКУ В УКРАЇНІ НА МІСЬКОМУ<br>ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ<br><i>Болібок К. І., Колосок І. О.</i>      | 461 |
| ОСНОВНІ РИЗИКИ В ТРАНСПОРТНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ<br>ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ<br><i>Дьомін О. А., Сотник Є. Д.</i>                                                   | 464 |
| МІНІМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПАЛИВА У ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ<br>ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З НАВАНТАЖНО-ЗАЛЕЖНИМ<br>КОЕФІЦІЄНТОМ СПОЖИВАННЯ<br><i>Савченко Л. А.</i>              | 465 |
| ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЯК<br>ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»<br>В УМОВАХ МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ<br><i>Савченко Л. А.</i>            | 467 |
| <b>Секція 9 «Надійність техніки і технологічного обладнання<br/>(постійно діюча секція для здобувачів вищої освіти)»</b>                                        | 470 |
| ЛОГІСТИКА АГРАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТ ЕКОЛОГІЧНОЇ<br>МОДЕРНІЗАЦІЇ: ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ КЛІМАТИЧНОЇ<br>ПОЛІТИКИ ЄС<br><i>Мацюк К., Мельник В.</i>             | 471 |
| ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН<br>ГАЛЬВАНІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД<br>РЕМОНТУ ТА ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ<br><i>Савченко О. О., Попик П. С.</i> | 473 |
| ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК<br><i>Віценко Я., Ревенко Ю.</i>                                                                                 | 475 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ РАМ<br>КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ХТЗ<br><i>Боклаг Ю. П., Сиволапов В. А.</i>                                                     | 477 |
| ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ<br>ДЕТАЛЕЙ «КЛАПАН-СІДЛО КЛАПАНА» ДВЗ<br><i>Оліфіренко Є. Г., Новицький А. В.</i>                                    | 481 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ІСТОРИЧНІ ВИТОКИ СТВОРЕННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ<br>КОМБАЙНІВ<br><i>Мошківський Г. В., Ружило З. В.</i>                                                                             | 484 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ<br>КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРІВ МТЗ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4<br><i>Підвисоцький В. О., Сиволапов В. А.</i>                               | 486 |
| НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ГІДРОАГРЕГАТІВ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЯК УМОВА<br>ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН<br><i>Савченко І. О., Попик П. С.</i>                             | 488 |
| УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВСТАНОВЛЕННЯ І<br>КРІПЛЕННЯ ГОЛОВНОЇ ПЕРЕДАЧІ СТЕНДУ З РЕМОНТУ<br>АГРЕГАТІВ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ<br><i>Щекальова А. М., Новицький А. В.</i> | 490 |
| ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ<br>ВІДНОВЛЕННЯ СТАКАНА ПІДШИПНИКА<br><i>Ружило З. В., Свинаренко С. О.</i>                                                         | 492 |
| ОСОБЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДОПОМІЖНОГО<br>ОБЛАДНАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ<br>КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ<br><i>Новицький А. В., Плаксії Д. В.</i>          | 495 |
| ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ<br>ПОВІТРЯНИХ ФІЛЬТРІВ КАБІНИ НАВАНТАЖУВАЧІВ<br>MANİTOU<br><i>Підвисоцький В. М., Новицький А. В.</i>                            | 498 |

ІНФОРМАЦІЙНЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
XIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО -ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»  
з нагоди 119-ї річниці від дня народження

доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ,  
віцепрезидента УАСГН

КРАМАРОВА Володимира Савовича

(1906-1987)

(19-20 лютого 2026 року)

*Відповідальна за випуск: В. І. Мельник, доцент кафедри надійності техніки  
НУБіП України.*

*Дизайн і верстка: Ю. І. Ревенко.*

*Адреса редакційної колегії – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 16,  
НУБіП України, навч. корп. 5, кімн. 17.*

**Редакційна колегія не несе відповідальності за зміст  
представлених матеріалів, поданих в авторській редакції**

---

Підписано до друку 7.03.2026. Формат 60x84 1/16  
Папір Maestro Print. Гарнітура Times New Roman.  
Друк. арк.. 18,1. Ум.-друк.арк. 27,2. Наклад 100 прим.  
Зам. №  
Редакційно-видавничий відділ НУБіП України  
03041, Київ, вул. Героїв оборони, 15. Т. 527-80-49, к 117

---

© НУБіП України, 2026