

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ЗУБКО ВЛАДИСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 631.17:65.018

**КОНЦЕПЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЗОВАНИХ  
АГРОТЕХНОЛОГІЙ**

05.05.11 «Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису  
Роботу виконано в Сумському національному аграрному університеті  
Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант** доктор технічних наук, професор  
**Пастухов Валерій Іванович**,  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка,  
професор кафедри сільськогосподарських машин

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Войтюк Валерій Дмитрович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
завідувач кафедри технічного сервісу  
та інженерного менеджменту імені  
М. П. Момотенка

доктор технічних наук, професор  
**Шейченко Віктор Олександрович**,  
Полтавський державний аграрний університет,  
професор кафедри технологій  
та засобів механізації аграрного виробництва

доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Волоха Микола Петрович**,  
Інституту біоенергетичних  
культур і цукрових буряків НААН,  
завідувач лабораторії агроєкомоніторингу,  
землеробства та діджиталізації

Захист відбудеться «27» квітня 2021 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «26» березня 2021 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Нинішнє аграрне виробництво оснащене новітніми сортами та гібридами агрокультур, сучасною технікою з автоматизованими системами, зокрема, на базі прогресивних ІТ-технологій, що дає можливість пристосовувати засоби механізації до умов виробництва, а тому актуальною постає проблема використання техніки із забезпеченням оптимальних умов для росту й розвитку агрокультур.

Врожайність агрокультур у сучасних умовах залежить від багатьох чинників, основними з яких є середовище та посівний матеріал (40–45 %), мінеральні та органічні добрива (20–25 %), засоби механізації (25–30 %) та інше (організаційні питання, структура господарства тощо) (5–10 %).

На формування врожаю агрокультур значна вага відводиться засобам механізації технологічних процесів. У зв'язку із цим, постає актуальне завдання визначити здатність засобів механізації забезпечувати потреби рослин через агротехнічні вимоги.

Водночас нині діючі агротехнічні вимоги не відповідають сучасним агротехнологіям і засобам механізації. У деяких випадках певні господарства намагаються самостійно розробляти нові вимоги, але цей процес має епізодичний характер і пов'язаний із забезпеченням певних показників. Іншою, не менш важливою проблемою, є зміна як ґрунтово-кліматичних умов (середовища росту й розвитку рослин), так і вдосконалення самої техніки (маси, кінематичних розмірів, типів ходових систем), що має істотний вплив на ефективність її використання.

До теперішнього часу використання засобів механізації оцінювалося тільки фінансовим показником. Водночас цей критерій не враховував якісних показників забезпечення потреб рослин агротехнікою.

Аналіз попередніх досліджень різних науковців було спрямовано на часткове визначення впливу певних механізованих операцій або певних машинних агрегатів на покращення росту й розвитку рослин, що не стало системою, тому залишається поза увагою важливий чинник – урахування зміни урожайності від недотримання у повному обсязі потреб рослин за виконання механізованих технологічних операцій.

Дослідження, які спрямовані на розроблення концептуального підходу до систематизації впливу роботи засобів механізації на забезпечення потреб рослин, належать до важливих і актуальних напрямів сьогодення й майбутнього, складають зміст теоретичних і експериментальних досліджень, що виконано в дисертації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що складають основу дисертації, виконано в Сумському національному аграрному університеті згідно з планами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт: «Удосконалення технологічного процесу та технічних засобів для виробництва та переробки аграрної продукції» (номер державної реєстрації 0119U103235); «Розробка і впровадження екологобезпечних, енергоощадних технічних засобів та методів експлуатації

в умовах зони лісостепу України» (номер державної реєстрації 0113U008229); «Наукові основи обґрунтування параметрів і вимог до машин у відповідності агровиимогам рослин» (номер державної реєстрації 0111U008027); «Розробка сівалки з орієнтуючим пристроєм для посіву озимої пшениці у зоні Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0117U003489).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження – забезпечення якості механізованих агротехнологій через урахування концептуальності підвищення ефективності реалізації біопотенціалу агрокультур на підставі їхніх потреб.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову гіпотезу: «Визначивши потреби рослин протягом періоду їхнього росту та розвитку у відповідному середовищі та розробивши агровиимоги, а в подальшому – агротехнічні вимоги та забезпечивши їхнє виконання за допомогою відповідних засобів механізації, стан забезпечення потреб рослин можливостями агромашин буде відповідати ступеню якості».

Для реалізації поставленої мети вирішено такі основні завдання:

- вивчити та структурувати потреби агрокультур на етапах підготовки ґрунту, їхньої сівби і в різних фазах їхнього розвитку для визначення чинників впливу як довкілля, так і механізованих технологічних операцій на процес накопичення біомаси рослинами у відповідності з прийнятою технологією;

- на основі вивчення та узагальнення технологічних операцій у кожному з основних етапів росту та розвитку рослин, розробити методiku обґрунтування показників агровиимог для кожної з операцій;

- розробити структуру керованої системи механізованих агротехнологій та базу підмножин, які входять до неї;

- уточнити для ходових систем сучасної техніки значення коефіцієнтів опору перекочування і зчеплення, а також буксування залежно від твердості ґрунту у шарі певної глибини;

- розробити структурно-логічну схему сучасних машинних агрегатів, дослідити в польових умовах їхню кінематику, вивчити та узагальнити в реальних умовах сучасних аграрних господарств структуру часу доби роботи агротехніки;

- розробити методологію, алгоритм та математичну модель визначення критерія якості виконання механізованих технологічних операцій;

- розробити метод економічного оцінювання забезпечення агротехнічних вимог засобами механізації на основі потреб рослин;

- удосконалити систему та комп'ютерну програму щодо якості та ефективності механізованих агротехнологій з урахуванням якісних показників роботи машинних агрегатів.

*Об'єкт дослідження* – технологічні процеси й механізовані засоби агротехнологій.

*Предмет дослідження* – методи моделювання механізованих агротехнологій для реалізації біопотенціалу агрокультур.

**Методи дослідження.** В основу теоретичних досліджень покладено методи математичного моделювання об'єктів підмножин систем технологічних

процесів вирощування агрокультур та управління ними з використанням теорії матриць та математичної логіки; а в експериментальних дослідженнях було проведено лабораторно-польові випробування, виробничо-хронографічні спостереження, застосовувалися обчислювальні експерименти, аналітичні дослідження моделей машинних агрегатів за допомогою програмних продуктів із використанням комп'ютерної техніки.

**Наукова новизна одержаних результатів** дослідження полягає в такому:

*Уперше:*

- запропоновано концепцію керованої системи механізованих агротехнологій, яка враховує бази складових системи та їхню взаємодію для забезпечення потреб рослин;
- обґрунтовано доцільність розроблення показників агровимог на основі теоретично описаного накопичення біомаси за етапами: підготовки середовища, сівби (посадки), догляду за посівами і збирання агрокультур, які можна реалізувати сучасними засобами механізації;
- обґрунтовано концепцію оцінки якості забезпечення потреб рослин машинними агрегатами, яка полягає в співвідношенні технологічних можливостей машин до агротехнічних вимог;
- розроблено метод оцінювання економічної ефективності керованої системи механізованих агротехнологій, що базується на аналізі рівнянь сплайнових функцій зміни врожаю з урахуванням забезпечення якості виконання технологічного процесу вирощування агрокультур.

*Набули подальшого розвитку:*

- показники взаємодії сучасних ходових систем із ґрунтом у шарі 0–10 см (коефіцієнти зчеплення, опору перекочування та буксування). Встановлено взаємозв'язок між твердістю ґрунту та питомим опором в орному шарі;
- методологія обґрунтування техніко-експлуатаційних параметрів машинних агрегатів залежно від їхньої структурно-логічної схеми. Удосконалено методику визначення їхніх кінематичних характеристик, запропоновано структуру складових режимів часу їхньої роботи.

*Удосконалено:*

- теоретичні аспекти математичної моделі щодо визначення коефіцієнта якості виконання механізованих технологічних операцій і загалом комплексів машин та його вплив на показники врожайності та собівартості продукції рослинництва.

**Практичне значення одержаних результатів.** Впровадження результатів дисертації у виробництво:

а) конструкторські бюро та заводи:

- ТОВ «Українське конструкторське бюро трансмісій і шасі» – результати, отримані завдяки використанню системи «Механізовані агротехнології. Якість та ефективність», використано при проектуванні та обґрунтуванні техніко-експлуатаційних та якісних показників роботи сільськогосподарських ґрунто-обробних знарядь бренду «Лозівські машини»;
- ТОВ «Лозівський ковальсько-механічний завод» – впроваджено у виробництво результати науково-дослідної роботи щодо удосконалення

конструкції борони-луцильника Дукат-2,5 у напрямі підвищення якісних показників її роботи;

– ПАТ «Харківський тракторний завод» – експериментальні залежності використано та прийнято в якості методичних засад для проведення агрегативання енергетичного засобу ХТЗ-17021;

б) агрофірми:

– ТОВ «Кернел» – результати розроблення структури складових режимів часу доби їхньої роботи з урахуванням сучасних умов вирощування культур, можливостями агротехніки з урахуванням використання в технологічному процесі precision систем;

– СТОВ «Промінь» – рекомендації з ефективності проведення посіву кукурудзи на зерно у вигляді відповідних математичних залежностей;

– СФГ «Кузін В. С.» – науково-обґрунтовано раціональні машинні агрегати для проведення обробітку ґрунту після попередника, основного обробітку ґрунту, посіву та збирання.

в) заклад освіти:

– Сумський національний аграрний університет – дисципліни освітньо-професійних програм спеціальності 208 «Агроінженерія» в розділах теоретичного і практичного матеріалу щодо обґрунтування технологічних операцій, комплектування машинних агрегатів, оцінювання ефективності використання техніки та оцінювання якості виконання технологічних операцій машинними агрегатами.

**Особистий внесок здобувача.** Теоретичні положення та експериментальні результати дисертації, які виносяться на захист, одержано здобувачем особисто. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, використано результати, отримані здобувачем особисто.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 87-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича «Гончарівські читання» (м. Суми, 2016 р.); XVII Міжнародній науковій конференції, присвяченій 116-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Суми, 2016 р.); 22 Міжнародній науковій конференції «Прогресивні технології в сільському господарстві» (м. Суми, м. Одеса, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні розробки в аграрній сфері» (м. Харків, 2017 р.); 17 Міжнародній науковій конференції «Engineering for Rural Development» (м. Єглава, Латвійська Республіка, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 89-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича «Гончарівські читання» (м. Суми, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Експлуатаційна та сервісна інженерія» (м. Харків, 2019 р.).

**Публікації.** Основний зміст і результати дисертації опубліковано в 36 наукових працях, з яких 18 статей у наукових фахових виданнях України, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних, 6 статей

у наукових виданнях інших держав, 2 патенти України на корисну модель, 10 тез наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг роботи становить 393 сторінки. Основна частина роботи містить 111 рисунків та 72 таблиці. Список використаних джерел налічує 386 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз стану питання забезпечення агровиимог сучасними засобами механізації» виконано аналіз стану питання щодо проблеми забезпечення якості виконання технологічних операцій відповідно до потреб рослин.

Дослідження потреб культур показало, що в кожній аграрній культурі є як спільні, так і індивідуальні вимоги, які впливають на реалізацію біологічного потенціалу. Для усереднення потреб рослин та спроможності агромашин до кожного показника були допуски – межі зміни показника потреб агрокультури. З огляду на те, що для максимальної реалізації потенціалу рослин необхідно знати їхні потреби, розглянуто внесок вчених у вивчення потреб агрокультур.

У процесі виробництва продукції рослинництва всі технологічні процеси тісно пов'язані між собою. Врожайність і якість продукції багато в чому залежить від того, наскільки забезпечено умови для росту й розвитку рослин та в які строки проведено всі необхідні механізовані роботи. Питаннями, пов'язаними з використанням плуга, займалися В. П. Горячкін, К. Г. Шиндлер, П. М. Василенко, П. М. Заїка, В. О. Дубровін, В. С. Новіков, О. В. Козаченко, проектуванням дискових знарядь – В. І. Кравчук, І. А. Шевченко, П. М. Заїка, А. С. Кушнар'ов, М. П. Волоха, В. І. Ветохін, С. І. Камбулов. Вклад у розвиток наукових досліджень робочих органів посівних машин і створення на їх основі нових конструкцій сівалок зробили А. М. Семьонов, М. М. Летошнев, І. В. Морозов, Л. В. Аніскевич, М. О. Свірень, М. П. Волоха, Ю. О. Росамаха. Дослідженням ефективності використання обприскувачів займалися І. А. Вікович, Т. І. Рибак, О. В. Сидорчук, Д. Г. Войтюк. Наукові роботи В. Д. Войтюка, В. О. Шейченка, Н. І. Кленіна, О. М. Леженкіна, А. А. Демка присвячено зернозбиральній техніці.

Аналізом структури сучасних машинних агрегатів та моделювання їхніх експлуатаційних показників встановлено, що основними параметрами, які впливають на роботу машинних агрегатів, є питомий опір, пов'язаний із коефіцієнтом зчеплення, опором перекошування та буксуванням. Від них залежать продуктивність та витрати палива. Водночас питомий опір не дає характеристики розвитку рослини, а визначальним показником для неї є твердість ґрунту. Під час проведення досліджень аграрної техніки визначаються дані й питомого опору, і твердості ґрунту, але тільки для умов проведення дослідження техніки. Сучасний аграрний бізнес потребує розроблення даних для переведення значення питомого опору у твердість

грунту, і навпаки. У сучасної аграрної техніки змінилися рушії на гумово-тросову гусінь, використовуються здвоєні або строєні колеса, для яких відсутні дані коефіцієнтів опору перекочування, зчеплення, коефіцієнта зминання шин та буксування залежно від твердості ґрунту. Дослідження, які було проведено, не повною мірою враховують сучасні ходові системи та типи ґрунтів.

Потребує додаткового вивчення в реальних аграрних господарствах структура часу доби роботи машинних агрегатів. Можливості забезпечення потреб сучасних агромашин потребам агрокультур, у порівнянні з попередніми моделями, значно виріс. У зв'язку з використанням активних систем забезпечення робочого процесу на агромашинах виникає необхідність додаткових джерел енергії від енергетичного засобу, запроваджено нові способи агрегування машинного агрегату – це вимагає розроблення структурно-логічної схеми машинних агрегатів із вивченням кінематики в польових умовах. Дослідженнями встановлено, що сьогодні відсутня структурно-логічна схема комплектування машинних агрегатів стосовно різних їх типів.

Проведення збирання аграрних культур супроводжується певним дробленням зерна. Це виникає внаслідок невраховування реальної пропускної здатності збиральної машини, яка залежить від стану біологічного врожаю, у тому числі від виду культури, коефіцієнта соломистості, вологості тощо. Необхідно залежність коефіцієнта соломистості та додаткової пропускної здатності, що буде коригуючим елементом залежно від урожайності поля на кожній його певній ділянці.

Питаннями розроблення агротехнічних вимог займалися такі вчені та виробничники, як К. С. Орманджи, В. Т. Надикто, В. І. Пастухов, В. І. Кочев, Г. І. Барабаш. Аналіз показує, що нинішні агротехнічні вимоги застаріли. Сучасна аграрна техніка забезпечує значно менші показники відхилення від зафіксованих у агротехнічних вимогах. Розвиток сучасної техніки іде в бік диференційованого обробітку ґрунту, сівби, внесення засобів захисту рослин обробіток як у межах поля, так і по глибині сівби.

На сучасному етапі аграрного виробництва існують резерви для підвищення врожайності агрокультур. По-перше, необхідно переглянути показники агротехнічних вимог. На сьогодні вони не відповідають можливостям сучасної аграрної техніки. По-друге, сучасні агромашини мають можливість забезпечувати ті вимоги, які раніше не досліджувалися та не враховувались, але мають вплив на формування врожаю. По-третє, змінилися матеріали, які використовуються для виготовлення робочих органів агротехніки і використання яких дає можливість експлуатувати техніку в умовах, наближених до потреб агрокультур.

Питання обґрунтування складу комплексів машин для виробництва продукції рослинництва розглянуто в роботах: Л. В. Погорілого, А. П. Терехова, А. А. Зангієва, Ф. В. Кальянова, В. О. Шейченка, І. П. Ксєневича, В. Д. Войтюка. Питання обґрунтування комплексу машин розглядалися у роботах М. К. Діденка, М. С. Рунчева. Обґрунтування машин для виконання поточних процесів аграрного виробництва висвітлено в роботах М. П. Волоха, Е. М. Багір-



Заде, А. М. Скороходова, Г. М. Данилової, В. І. Дубини, Е. С. Мельников, А. І. Пасічного, А. М. Крикова. Оптимізація складу машинного парку аграрних підприємств представлено в роботах Е. А. Фінна, І. І. Мельника, В. І. Пастухова, Ю. Д. Паперного, О. В. Сидорчука, В. Ф. Рожина. Імітаційне моделювання транспортних систем у рослинництві було розглянуто в роботах С. Г. Фришева, Е. А. Фінна, А. М. Крикова, В. А. Гобермана, В. І. Дубина, Л. І. Головашкіна, В. П. Єлизарова, С. В. Кардашевського, А. І. Бур'янова, Ю. І. Зенченка, В. Д. Ігнатова, Н. Д. Крилова, Р. В. Тхайцукової.

На сучасному етапі аграрного виробництва існують резерви для підвищення врожайності завдяки забезпеченню потреб агрокультур. Аналіз питання показав, що критерій оцінювання якості виконання технологічного процесу робочими органами агротехніки мало досліджений. По-перше, необхідно переглянути показники агротехнічних вимог. Сьогодні вони не відповідають можливостям сучасної аграрної техніки. По-друге, сучасні агромашини мають можливість забезпечувати ті вимоги, які раніше не досліджувалися та не враховувалися, але мають вплив на формування врожаю. По-третє, змінилися матеріали, які використовуються для виготовлення робочих органів агротехніки і використання яких дає можливість реалізувати потреби агрокультур. Результатом аналітичного огляду проаналізованих наукових робіт є формулювання подальших завдань досліджень.

У другому розділі «**Теоретичні основи керованої системи механізовані агротехнології: якість та ефективність**» розглянуто основні положення максимальної реалізації біологічного потенціалу аграрних культур з огляду на забезпечення якості виконання технологічних операцій.

Весь процес росту та розвитку агрокультури складається з основних етапів, до яких належать підготовка ґрунту, сівба, накопичення енергії рослиною, збереження накопиченої маси. У кожному з етапів на основі запланованої технології відбувається відповідна механізована операція, яка повинна сприяти інтенсивності росту й розвитку рослин.

Розроблені теоретичні основи накопичення біомаси за етапами підготовки середовища, сівби (посадки), догляду за посівами і збирання агрокультур, за умови повного забезпечення їхніх потреб використано для розроблення керованої системи механізовані агротехнології, які враховують бази складових системи та їхню взаємодію для забезпечення якості механізованих процесів у рослинництві. Послідовність розроблення механізованого технологічного процесу реалізується за алгоритмом, представленим на рис. 1.

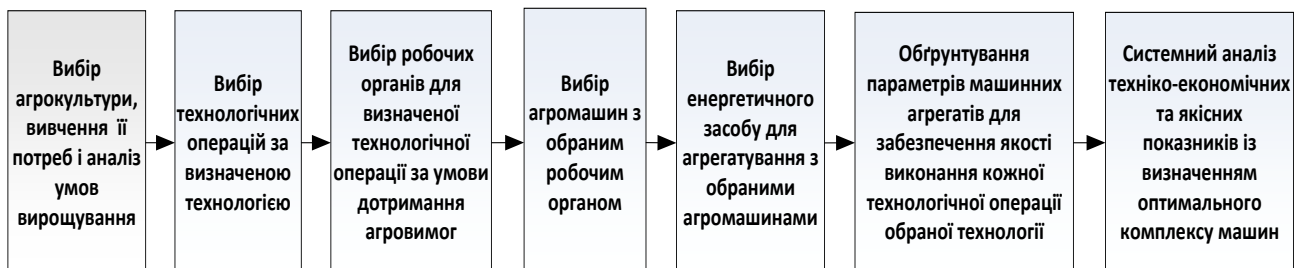


Рис. 1. Алгоритм реалізації керованої системи механізовані агротехнології

Системне планування виробництва продукції рослинництва на основі використання типологічного ряду системи, який містить завершену кількість чинників (агрокультури, поля, агрокліматичні умови, машинні агрегати), дає можливість представити дослідження як результат проєктної діяльності зміни середовища.

Для вирішення задачі застосовано методи математичної логіки, які базуються на принципах перетворень. Для цього структуровано інформацію щодо сучасних сортів та гібридів агрокультур, агрокліматичних умов їх вирощування та засобів механізації, які використовуються для забезпечення виконання механізованого технологічного процесу і входять у дану систему (матриця агрокультур, матриця полів відповідного господарства та стан довкілля, матриця технологічних операцій; матриця агромашин; матриця енергетичних засобів; матриця систем контролю та розрахунку для оцінювання якості роботи машинних агрегатів).

Складова матриці технологічних операцій агрокультур сформована у вигляді двовірної матриці розміром  $I \times J$  (де  $I$  – кількість механізованих технологічних операцій усіх (можливих) культур у матриці;  $J$  – кількість різновиду кожної технологічної операції в матриці) і містить інформацію про наявні технологічні операції та сучасні робочі органи машин, які відрізняються за призначеннями їхнього використання та технологічними параметрами (наприклад, глибина, швидкість). Інформація формується на підставі результатів досліджень технологій та рекомендацій фахових наукових установ щодо зональної ефективності використання технологічних операцій. Інформація про робочі органи формується з каталогу та іншої техніко-технологічної інформації дилерських мереж продажу аграрної техніки.

Кожна комірка  $x_{ij}$  трьохвірної матриці є характеристикою  $i$ -ої технологічної операції (порядковий номер у матриці по горизонталі)  $j$ -ого різновиду (порядковий номер у матриці по вертикалі) (рис. 2).

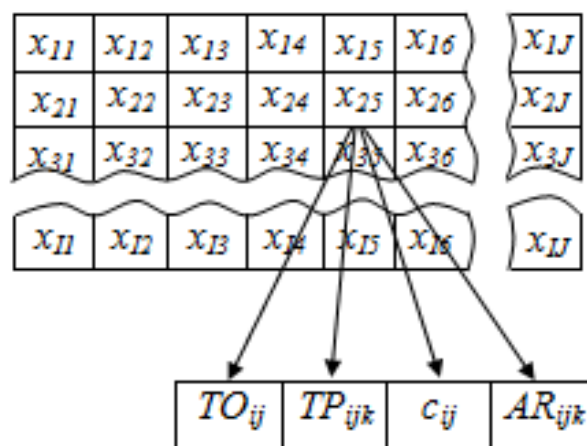


Рис. 2. Об'єкти підмножини технологічних операцій

Кожна комірка  $x_{ij}$  представляє собою двовірну або трьохвірну матрицю, яка включає такі параметри:  $TO_{ij}$  – назва  $i$ -ої технологічної операції  $j$ -ого різновиду (наприклад, для операції «сівба зернових культур» – сівба дисковими

сошниками, сівба анкерними сошниками тощо);  $TP_{ijk}$  – технологічні параметри для  $i$ -ої операції  $j$ -ого різновиду з  $k$ -им параметром формуються на підставі потреб рослини, визначаються дослідним шляхом для конкретних умов.

Відповідно технологічним нормативам мають відповідати агротехнічні вимоги:  $\rho_{ij}$  – тип робочого органу для забезпечення  $i$ -ої операції  $j$ -го різновиду;  $AR_{ijk}$  – агротехнічні вимоги для  $i$ -ої операції  $j$ -го різновиду  $k$ -го параметру.

Аналізуючи роботу машинних агрегатів, встановлено, що з погляду реалізації тягових можливостей енергетичних засобів надзвичайно важливими показниками є коефіцієнти зчеплення рушіїв із ґрунтом та коефіцієнту опору перекочування, які залежать від їхнього типу, структури та твердості поверхні роботи агромашин та питомого опору ґрунту.

Значення коефіцієнтів зчеплення рушіїв із ґрунтом та опору перекочування ходових систем за різної твердості ґрунту в шарі 0–10 см приведено на рис. 3 та рис. 4.



Рис. 3. Залежність коефіцієнта зчеплення різних типів рушіїв від твердості ґрунту

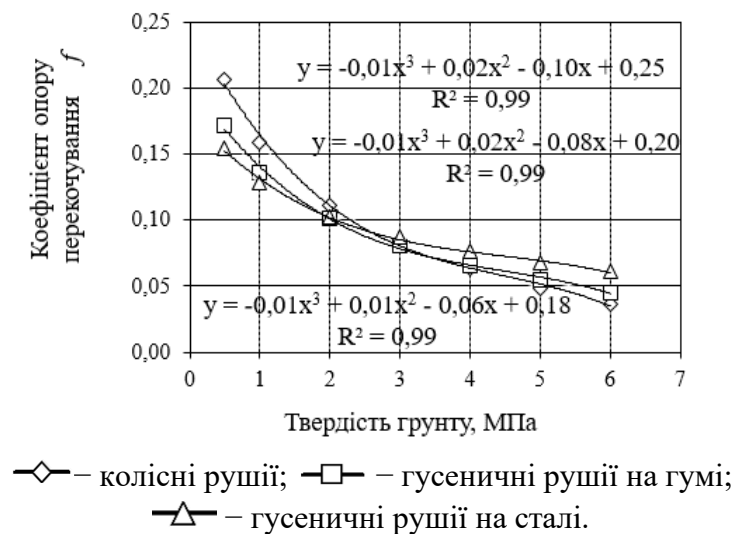


Рис. 4. Залежність коефіцієнта опору перекочування ходових систем від твердості ґрунту

Встановлено, що коефіцієнт зчеплення сучасних типів рушіїв зростає зі збільшенням твердості ґрунту й описаний логарифмічними залежностями:  $y_{кр} = -0,01x^2 + 0,17x + 0,35$ ;  $y_{гг} = -0,01x^2 + 0,17x + 0,47$ ;  $y_{гс} = -0,01x^2 + 0,15x + 0,56$ , а коефіцієнт опору перекочування ходових систем зі зростанням твердості зменшується й описаний залежностями:  $y_{кр} = -0,01x^3 + 0,02x^2 - 0,10x + 0,25$ ;  $y_{гг} = -0,01x^3 + 0,02x^2 - 0,08x + 0,20$ ;  $y_{гс} = -0,01x^3 + 0,01x^2 - 0,06x + 0,18$ . Водночас кореляцію коефіцієнта зчеплення від твердості ґрунту перевірено за критерієм Фішера, який складає:  $F_{гс} = 86,76 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ ;  $F_{гг} = 84,47 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ ;  $F_{кр} = 81,13 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ . Кореляція коефіцієнта опору перекочування від твердості ґрунту складає:  $F_{гс} = 84,11 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ ;  $F_{гг} = 85,32 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ ;  $F_{кр} = 85,36 > F_{табл}(1,10) = 4,96$ ,  $R^2 = 0,89$ .

Величина буксування залежить від максимальної сили зчеплення ведучого апарату з ґрунтом  $F_{max}$  і величини загального опору машинного агрегату  $R_{заг}$ : величина буксування ведучих ходових систем ( $\delta$ ) залежить від відношення загального опору машинного агрегату ( $R_{заг}$ ) до максимальної сили зчеплення ведучого апарату з ґрунтом ( $F_{max}$ ):

– для енергетичних засобів із колісними ходовими системами:

$$\delta = 0,264 \exp(5,437p) + 3,718, \% \quad (1)$$

– для енергетичних засобів із металевими гусеничними ходовими системами:

$$\delta = 0,033 \exp(7,154p) + 0,792, \% \quad (2)$$

– для енергетичних засобів із гумовими гусеничними ходовими системами:

$$\delta = 0,098 \exp(6,175p) + 1,281, \%. \quad (3)$$

де  $p$  – відношення загального опору машинного агрегату ( $R_{заг}$ ) до максимальної сили зчеплення ведучого апарату з ґрунтом ( $F_{max}$ ).

Характерним показником впливу на забезпечення якості виконання технологічних операцій є залежність між твердістю ґрунту та його питомим опором (рис. 5).

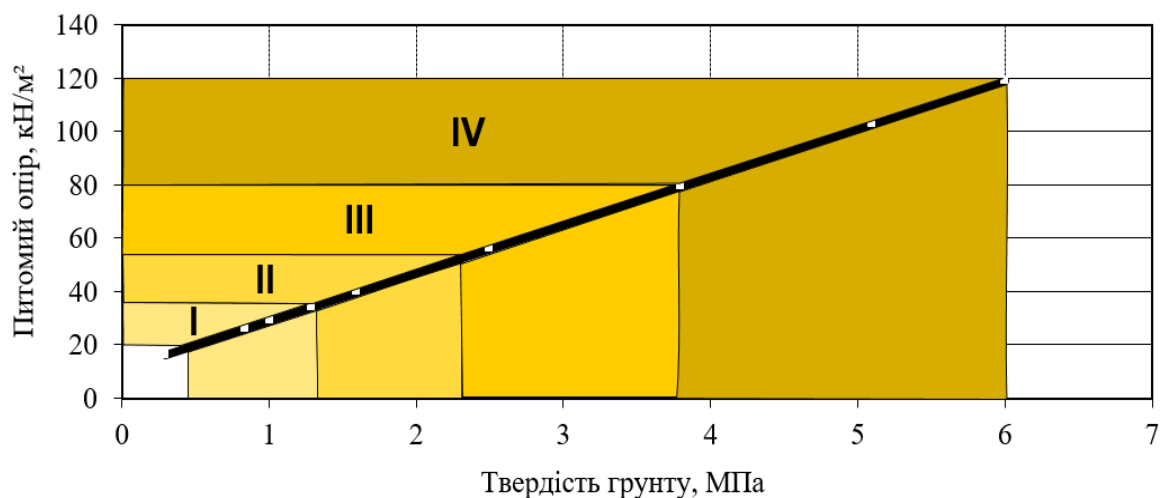


Рис. 5. Залежність між твердістю ґрунту та його питомим опором: I – легкі ґрунти; II – середні ґрунти; III – важкі ґрунти; IV – дуже важкі ґрунти

Залежність між твердістю ґрунту та його питомим опором описується формулою прямої:  $y=18x+11$ . Водночас критерій Фішера складає:  $F_{розр}=4218,80 > F_{табл}(1,9)=5,12$ , модель адекватна на 95 % рівні.

Для якісного комплектування складу машинних агрегатів та оцінювання роботи розроблено їхню структурно-логічну схему для виконання технологічних операцій. Наприклад, машинний агрегат у складі енергетичного засобу Belarus 1025 і дискової борони-луцильника «Дукат-2,5», який має таку структурно-логічну схему:

$$\text{МАМП} \equiv \text{ЕЗК}^4 \rightarrow \text{гак} \& \text{АМН}, \quad (4)$$

де МАМП – мобільний польовий;  $\equiv$  – включення складових частин до єдиного машинного агрегату;  $\text{ЕЗК}^4$  – колісний з колісною формулою 4К4; гак – через тяговий гак;  $\&$  – послідовне включення складових одиниць; АМН – начіпна.

Дослідження структури балансу часу доби та кінематики машинних агрегатів у реальних аграрних господарствах показало, що вони потребують уточнення для сучасних умов та сучасних систем машин. Для забезпечення безперервності технологічного процесу за агровимогами запропоновано уточнену структуру складових режимів часу перебування машинних агрегатів:

– режим спокою ( $T_{спок}$  – тривалість знаходження машинного агрегату в стані спокою);

– режим простою ( $T_{пто}$  – тривалість перезмінки й контрольного огляду машинних агрегатів;  $T_{тхо}$  – тривалість технологічного обслуговування;  $T_{фіз}$  – тривалість фізіологічних потреб операторів);

– режим переміщення ( $T_{пер}$  – тривалість переміщення машинних агрегатів до поля;  $T_{gps}$  – тривалість встановлення координат;  $T_{мпп}$  – тривалість підготовки поля;  $T_{заг}$  – тривалість переміщення між загінками;  $T_{пов}$  – тривалість холостих ходів (поворотів));

– режим основної роботи ( $T_{осн}$  – тривалість робочих ходів (основної роботи)).

Отже коефіцієнт використання часу основної роботи становитиме  $\tau_{ор}$ :

$$\tau_{ор} = \frac{T_{осн}}{(T_{пто}+T_{тхо}+T_{фіз}+T_{пер}+T_{gps}+T_{тпп}+T_{заг}+T_{пов})-T_{спок}}. \quad (5)$$

Встановлена залежність мінімального радіусу повороту сучасних причіпних машинних агрегатів від ширини захвату машинного агрегату (рис. 6).

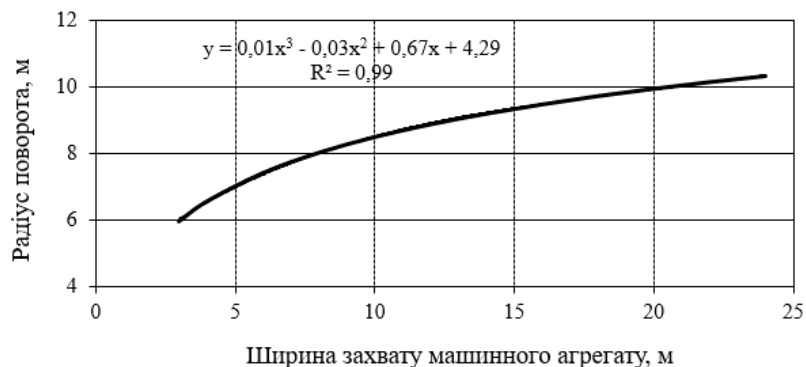


Рис. 6. Залежність радіусу повороту від ширини захвату машинних агрегатів

Радіус повороту сучасних причіпних агрегатів збільшується зі зростанням ширини захвату машинного агрегату й описується рівнянням:  $y=0,01x^3-0,03x^2+0,67x+4,29$ . Водночас критерій Фішера дорівнює:  $F_{розр}=127,27>F_{табл}(1,10)=4,96$ ,  $R^2=0,92$ .

Встановлено, що коефіцієнт робочих ходів залежить від кількості заїнок (рис. 7).

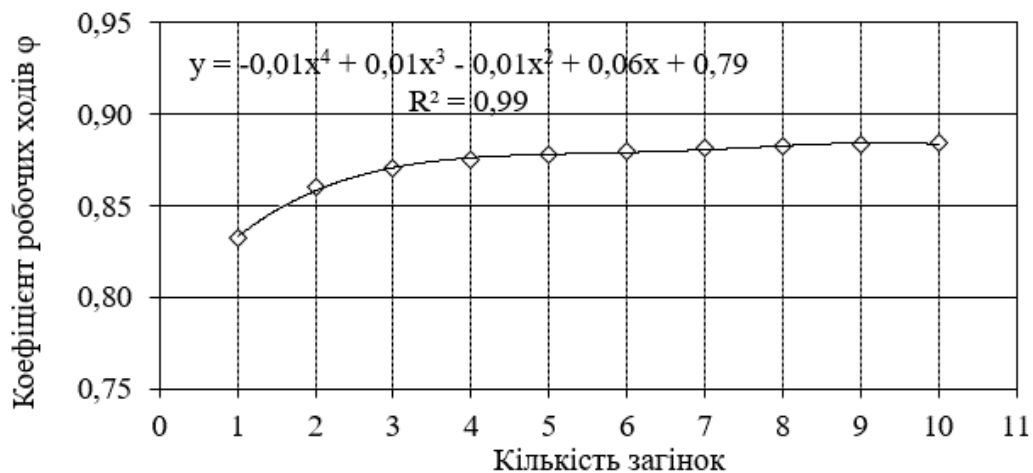


Рис. 7. Залежність коефіцієнта робочих ходів  $\phi$  від кількості заїнок

На рис. 7 представлено роботу орного агрегату в складі John Deere 8400+ +ПН-10-35 на полі з характеристиками:  $S=100$  га, довжина гону 800 м, ширина поля 125 м – раціональна кількість заїнок становить 4–6 шт. Коефіцієнт робочих ходів у разі збільшення кількості заїнок незначно зростає й описується кривою:  $y=-0,01x^4+0,01x^3-0,01x^2+0,06x+0,79$ . Критерій Фішера становить:  $F_{розр}=16,09>F_{табл}(1,8)=5,32$ .

Встановлено, що якість виконання технологічних операцій різними робочими органами машинних агрегатів, впливає на реалізацію біологічного потенціалу.

У разі підвищення показника якості виконання механізованих технологічних операцій зростає й собівартість її виконання. Це пов'язано із залученням конструктивно дорогих робочих органів, додаткового обладнання контролю, аналізу та автоматичного коригування показників якості виконання технологічного процесу.

Результатом обґрунтування параметрів машинних агрегатів, для забезпечення якості виконання кожної технологічної операції обраної технології, є показник якості роботи машинного агрегату, собівартість виконання технологічної операції та приведений до врожайності вартісний показник.

Коефіцієнт якості роботи машинного агрегату залежить від робочих органів агромашин, агрокліматичних умов і довкілля, продукту, який обробляємо, та його стану. Кожна умова є комплексом параметрів, які необхідно враховувати при визначенні коефіцієнта якості роботи машинного агрегату. Отже, коефіцієнт якості забезпечення агротехнологій ( $K$ ) можна описати залежністю:

$$K = k_a \cdot k_m \cdot k_e \cdot k_c \cdot k_{\Pi}, \quad (6)$$

де  $k_a$  – коефіцієнт якості забезпечення агротехнічних вимог;  $k_m$  – коефіцієнт якості роботи агромашини;  $k_e$  – коефіцієнт якості роботи енергомашини;  $k_c$  – коефіцієнт, який враховує вплив елементів довкілля на якість роботи машинного агрегату;  $k_{\Pi}$  – коефіцієнт, який враховує вплив стану оброблюваного продукту на якість роботи машинного агрегату.

Коефіцієнт якості забезпечення агротехнічних вимог ( $k_a$ ) враховує кількість показників, їхній ренкінг, допуски виконання операції та агротехнічні можливості робочих органів машин:

$$k_a = \frac{\sum_{i=1}^n ((a_i - |d_i|) * b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i * b_i)}, \quad (7)$$

де  $a_i$  – значення  $i$ -го показника агротехнічних вимог;  $d_i$  – для діючих машин це відхилення під час виконання операції, а для проєктованих це нормативне відхилення;  $b_i$  – ренкінг  $i$ -го показника вимоги технологічної операції.

Коефіцієнт якості роботи агромашини ( $k_m$ ) враховує вплив на якість виконання агротехнічних вимог складових елементів конструкції агромашин (наприклад, ходових систем) та режимів роботи:

$$k_m = f(a_g, V_m, a_m, w_h, V_p, a, \gamma, l, T), \quad (8)$$

де  $a_g$  – спосіб агрегування;  $V_m$  – амплітуда коливної швидкості (віброшвидкість), м/с;  $a_m$  – амплітуда коливного прискорення (віброприскорення), м/с<sup>2</sup>;  $w_h$  – ходові системи;  $V_p$  – робоча швидкість машинного агрегату, км/год;  $a$  – глибина обробітку, см;  $\gamma$  – кут напрямку роботи машинного агрегату, °;  $l$  – довжина гону, м;  $T$  – твердість ґрунту, МПа.

Коефіцієнт якості роботи енергомашини ( $k_e$ ) впливає на якість виконання агротехнічних вимог завдяки функціонуванню систем агрегатів енергетичних засобів:

$$k_e = f(V_m, a_m, \delta, a_g, w_h, V_p, a, \gamma, l, T), \quad (9)$$

де  $\delta$  – буксування, %.

Коефіцієнт, який враховує вплив елементів довкілля на якість роботи машинного агрегату, ( $k_c$ ) складається з показників довкілля та зовнішніх чинників, які прямо не впливають на якість, але від яких залежить забезпечення якості роботи машинного агрегату:

$$k_c = f(W, \rho, n, k, d, P, T, V_m, a_m), \quad (10)$$

де  $W$  – вологість ґрунту, %;  $\rho$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $n$  – пористість ґрунту, %;  $k$  – грудкуватість ґрунту;  $d$  – наявність та глибина розташування плужної підшви;  $P$  – тиск повітря, Па.

Коефіцієнт, який враховує вплив стану оброблюваного матеріалу на якість роботи машинного агрегату, ( $k_{\Pi}$ ) враховує вологість, щільність, твердість та інші властивості оброблюваного матеріалу:

$$k_{\Pi} = f(m_{con}, \rho, u_i), \quad (11)$$

де  $m_{con}$  – вологість матеріалу, %;  $\rho$  – щільність матеріалу, г/см<sup>3</sup>;  $u_i$  – твердість матеріалу, МПа.

Розроблена методика визначення показників якості виконання технологічних операцій машинними агрегатами, залежно від культури та технології її вирощування, дає можливість розраховувати долю виконання встановлених агротехнічних вимог для кожної механізованої технологічної операції. Реальна врожайність розраховується за такою залежністю:

$$U_p = U_{nl} - \sum_{i=1}^n U_{nl} \cdot k_{TO_i} \cdot k_{a_i}, \quad (12)$$

де  $U_p$  – реальна врожайність, т/га;  $U_{nl}$  – планова врожайність агрокультури, т/га;  $k_{TO}$  – коефіцієнт, який враховує вплив  $i$ -ої операції на кінцеву врожайність агрокультури;  $k_a$  – коефіцієнт якості роботи  $i$ -го машинного агрегату.

Зниження врожайності агрокультури залежить від долі забезпечення агротехнічних вимог виконання технологічної операції через коефіцієнт якості роботи машинного агрегату та ренкінг показника технологічної операції, зменшення якого веде до зниження запланованої врожайності:

$$U_{zn} = \sum_{i=1}^n U_{nl} \cdot b_i (1 - k_{a_i}), \quad (13)$$

де  $U_{nl}$  – планова врожайність, т/га;  $b$  – ренкінг  $i$ -го показника вимоги технологічної операції.

Структура керованої системи механізованих агротехнологій задається в символній формі:

$$Кул; F; TO; AR; A; E; MA, \quad (14)$$

де  $Кул$  – вибір агрокультури;  $F$  – вибір поля;  $TO$  – вибір технологічної операції;  $AR$  – агротехнічні вимоги;  $A$  – вибір агромашини;  $E$  – вибір енергетичного засобу;  $MA$  – машинний агрегат.

Вибір агрокультури визначається з матриці агрокультур з урахуванням ринкових потреб, а вибір полів має відповідати технології вирощування обраної агрокультури (матриця полів відповідного господарства та стан довкілля). Вирощування агрокультури може проводитися на одному полі або на декількох ділянках одночасно. Наступний крок в утворенні структури – комплектування машинного агрегату, який призначений для певної технологічної операції й забезпечує якість виконання відповідно до агротехнічних вимог з оптимальними техніко-експлуатаційними параметрами (матриця технологічних операцій; матриця агромашин; матриця енергетичних засобів; матриця систем контролю та розрахунку для оцінювання якості роботи машинних агрегатів).

Взаємозв'язки в системі доцільно представити у вигляді морфологічного графа (рис. 8), який дає змогу відобразити одночасне перетворення. Для цього необхідні чіткі умови, що однозначно описують можливість наслідування структурних елементів та варіантних особливостей у сукупності предметного переліку.

Наступна група  $A$  – матриця «Агромашини».  $A_{1m}$  – машина для передпосівного обробітку ґрунту,  $A_{2n}$  – машина для посіву,  $A_{3o}$  – машина для внесення добрив,  $A_{4mo}$  – машина, яка може одночасно з посівом виконати передпосівний обробіток ґрунту та внесення добрив.



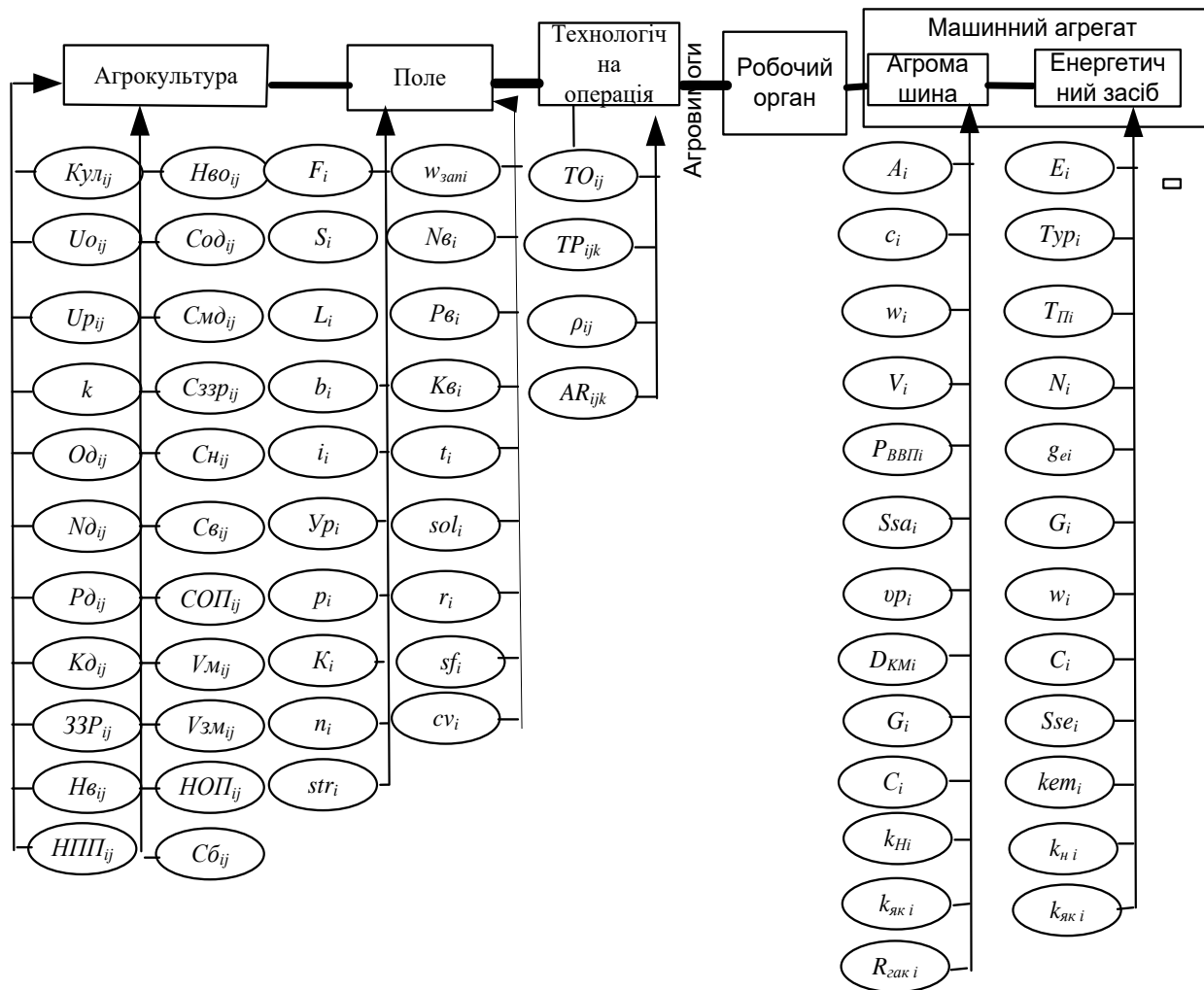


Рис. 8. Морфологічний граф керованої системи механізованої агротехнології

Підсистема заданої групи визначається технологічними параметрами  $A_{mno}^p$  – передпосівного обробітку ґрунту,  $A_{mno}^q$  – сівби та  $A_{mno}^r$  – внесення добрив.

Остання група –  $E$ , які присутні в базі «Енергетичні засоби».  $E_{Is}$  – потужність двигуна енергозасобу,  $E_{It}$  – маса енергозасобу,  $E_u$  – витрати палива двигуном енергозасобу.

З огляду на кількість кінцевих елементів у кожній групі можна очікувати значної кількості комбінацій ключових характеристик і керованої системи механізованих агротехнологій із новими властивостями. У якості попереднього кроку необхідно визначити основні правила, за якими атрибути можуть бути згруповані. Використовуючи закони математичної логіки для викладу загальних підходів до формування теорії керованої системи механізованої агротехнології, будуються висловлювання за допомогою логічних відносин. У цьому випадку керована система механізованих агротехнологій складається з елементів графа морфологічних ознак, у формалізованій формі, кожен тип системи буде являти собою складне висловлювання, що складається з простих елементів за допомогою дій, які можуть бути змістовно виражені як «і» (з'єднання), відоме як кон'юнкція, «або» (Заміна), відоме як диз'юнкція.  $\wedge$

$$\left[ \begin{array}{l} ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{mn}^{jkl\rho}) \vee ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{ghi}^{1jkl\rho}) \vee \dots \\ ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{ghi}^{xjkl\rho}) \wedge A_{mn}^{pqr} \wedge E_{stu} \vee \\ \dots \\ (Кул_{abc} \wedge F_{def} \wedge TO_{ghi}^{xjkl\rho} \wedge A_{mno}^{xpqr} \wedge E_{xstu}), \\ a, b, c, \dots, s, t, u, x = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right] \quad (15)$$

Далі аналізуються: ТЕЕ – розрахунок техніко-технологічних, експлуатаційних і економічних параметрів вибраних машинних агрегатів та коефіцієнта якості; ОВ – обґрунтовуються оптимальні обсяги виробництва; С – розраховується собівартість продукції та загальні втрати залежно від коефіцієнта якості.

На мові математичної логіки це означає, що необхідно врахувати одночасно оптимальні значення трьох складових. Для цього скористаємося логічною операцією «і» ( $\wedge$ ), як показано далі (16):

$$ТЕЕ_{extr} \wedge ОВ_{extr} \wedge С_{extr}. \quad (16)$$

Після врахування оптимізаційних компонентів (16) необхідно привести формулу (15) до логічного завершення, тим самим обрати найменш затратний і найприбутковіший машинний агрегат для виконання відповідної операції певної культури. Для цього і скористаємося логічною операцією імплікацією « $\Rightarrow$ », що для керованої системи механізованих агротехнологій означає «слідкування» з першочергових операції з урахуванням (16) однієї найвдалішої.

$$\left[ \begin{array}{l} ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{mn}^{jkl\rho}) \vee ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{ghi}^{1jkl\rho}) \vee \dots \\ ((Кул_{abc} \wedge F_{def}) \wedge TO_{ghi}^{xjkl\rho}) \wedge A_{mn}^{pqr} \wedge E_{stu} \vee \\ \dots \\ (Кул_{abc} \wedge F_{def} \wedge TO_{ghi}^{xjkl\rho} \wedge A_{mno}^{xpqr} \wedge E_{xstu}) \\ \xrightarrow{ТЕЕ_{extr} \wedge ОВ_{extr} \wedge С_{extr}} \\ (Кул_{abc} \wedge F_{def} \wedge TO_{ghi}^{xjkl\rho} \wedge A_{mno}^{xpqr} \wedge E_{xstu})_{opt} \end{array} \right] \quad (17)$$

Ця формула буде генерувати наявні або перспективні агрегати через об'єднання різних принципів і особливостей із наведеного вище морфологічного графа (див. рис. 8).

Аналіз ефективності використання комплексу машин для вирощування агрокультур проводиться, використовуючи графіки Процес підготовки до накопичення біомаси та її накопичення відповідною агрокультурою (рис. 9).

Наприклад, кількість врожаю кукурудзи на зерно становить площу (рис. 9), обмежену відрізком осі абсцис –  $OO''$ , рівняннями сплайнових функцій розвитку агрокультури, що є повною реалізацією біологічного потенціалу за агротехнічних вимог –  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  й ординатами, відповідними точкам на осі абсцис:  $t=125$  и  $t=300$ . Загальний вигляд рівнянь сплайнових функцій має вид:

$$y_i(t) = a_i t^2 + b_i t + c_i, \quad (18)$$

де  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ;  $i = \overline{1,4}$  – коефіцієнти, отримані експериментальним шляхом;  $t$  – календарні строки, дні.

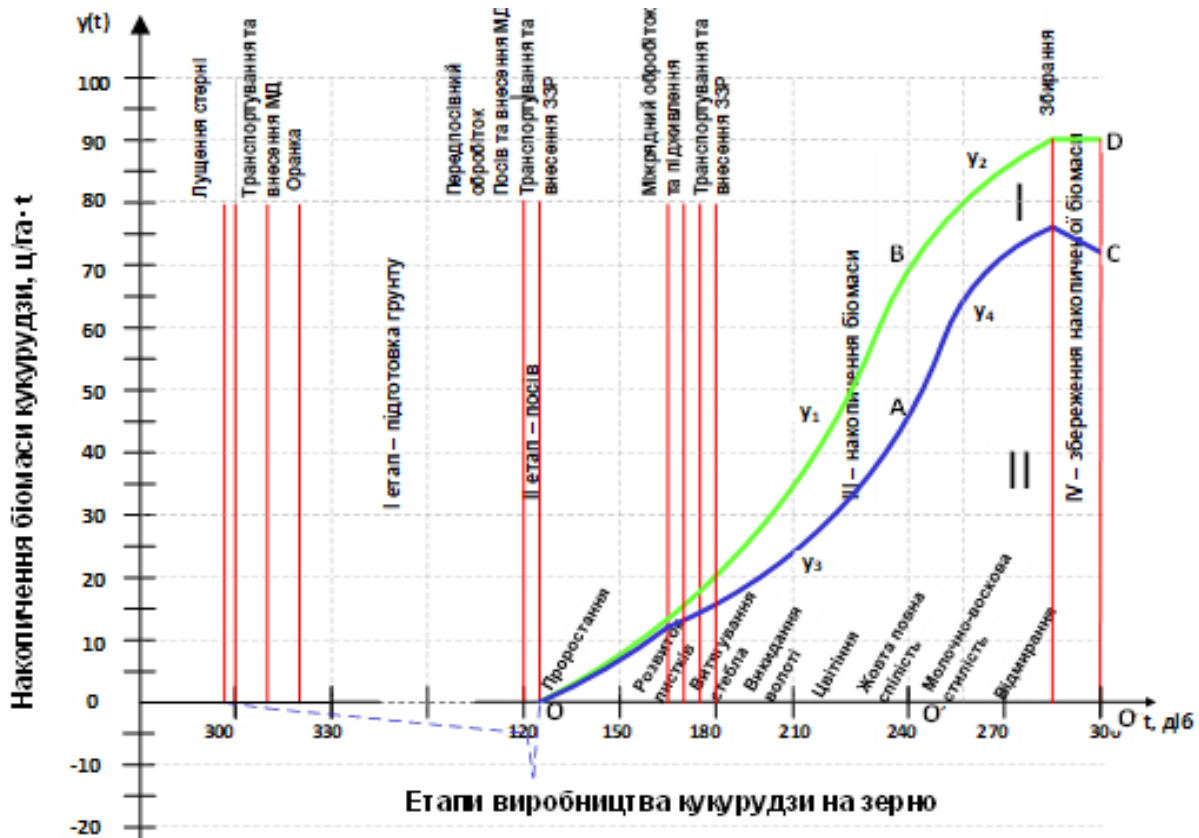


Рис. 9. Процес підготовки до накопичення біомаси та її накопичення відповідною агрокультурою

Криволінійна трапеція, обмежена зверху сплайновою функцією реалізації біологічного потенціалу при забезпеченні агротехнічних вимог *OBD*, знизу сплайновою функцією реальної реалізації біологічного потенціалу агрокультури *OAC*, й ординатами, відповідними точкам на осі абсцис  $t=125$  і  $t=300$ , відповідає втратам врожаю від недовиконання якості та розраховується інтегральною формулою:

$$P = \int_{t_1}^{t_2} (y_1(t) - y_3(t)) dt + \int_{t_2}^{t_3} (y_2(t) - y_4(t)) dt, \quad (19)$$

де  $P$  – зниження врожайності, ц/га.

Отже, метод дозволяє розробити алгоритм розрахунку ефективності керованої системи механізованої агротехнології на підставі потреб рослин, умов вирощування агрокультур та сучасної техніки. На основі викладених моделей обґрунтування раціональних машинних агрегатів, для забезпечення виконання технологічних операцій для оптимізації комплексів машин, удосконалено алгоритм та розроблено комп'ютерну програму «Механізовані агротехнології. Якість та ефективність», яка дає змогу розрахувати комплекси машин, з урахуванням якості виконання робіт.

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» наведено програму та методику лабораторно-польових та обчислювальних досліджень щодо забезпечення якості технологічних операцій.

Програма лабораторно-польових досліджень включає: вивчення природно-кліматичних умов вирощування рослин та роботи машинних агрегатів; дослідження функціонування робочих органів агромашин та забезпечення ними потреб рослин; вивчення техніко-експлуатаційних властивостей машинних агрегатів та їхніх особливостей; визначення закономірностей зміни якісних показників залежно від режимів роботи машинних агрегатів; вивчення альтернативних методів регулювання агромашин для забезпечення агровимог; проведення аналізу отримання врожаю агрокультур з урахуванням можливостей машинних агрегатів.

Програма обчислювальних експериментів складається з: розроблення вхідної інформації для проведення розрахунків у керованій системі механізованих агротехнологій; розроблення вхідної інформації для програми «Машинний агрегат»; дослідження моделей машинних агрегатів різного складу залежно від зміни умов роботи з урахуванням якості забезпечення агровимог відповідних операцій; дослідження експлуатаційно-економічних та якісних показників функціонування машинних агрегатів на основних операціях кожного етапу: обробка попередника, підготовка до сівби та сівба, догляд за посівами та збирання; проведення аналізу зміни показників якості за зміни умов та режимів роботи машинних агрегатів; дослідження ефективності використання комплексу машин для вирощування кукурудзи на зерно з використанням накопичення біомаси за забезпечення агротехнічних вимог та накопичення біомаси за технологічними можливостями агротехніки.

Дослідження проводилися спільно з ЛКМЗ, Elvorti, компанією Bednar та ATS Україна (Horsch) на території України та Чеської Республіки.

Для визначення якості забезпечення агровимог машинними агрегатами в польових умовах використовувалися методики для визначення показників якості та контролю умов виконання технологічних операцій. У процесі проведення досліджень використовувалися ДСТУ, ОСТ, КНД, Standart ASAE.

У програмі експериментальних досліджень передбачалося дослідження машинних агрегатів по одній операції на кожному з етапів росту й розвитку рослин, а саме на луценні та дискуванні стерні, оранці, сівбі, обприскуванні, збиранні.

Першочергово проводилися дослідження умов виконання механізованих технологічних операцій. Так, наприклад, перед дослідженням технологічних операцій досліджували твердість ґрунту (рис. 10), його вологість (рис. 11), температуру, щільність, пористість (рис. 12). Усе це фіксувалося для глибокого подальшого аналізу результатів дослідження.

Друга стадія проведення польових досліджень машинних агрегатів включає дослідження показників якості та техніко-технологічних параметрів на різних режимах роботи. Наприклад, під час проведення сівби кукурудзи якісні та експлуатаційні показники роботи машинного агрегату діставали як в онлайн (з монітора трактора, монітора сівалки), так і проводили заміри показників безпосередньо після виконання технологічної операції (рис. 12).



Рис. 10. Вимір твердості ґрунту та визначення глибини залягання плужних підшв (вертикальний спосіб): а) Penetrometer Pn-10 б) твердомір Рев'якіна



Рис. 11. Пристрій для визначення стану ґрунту: а) пристрій для фіксації вологості в ґрунті NH2 б) обладнання Eijkelkamp для відбору зразків ґрунту для визначення щільності та пористості

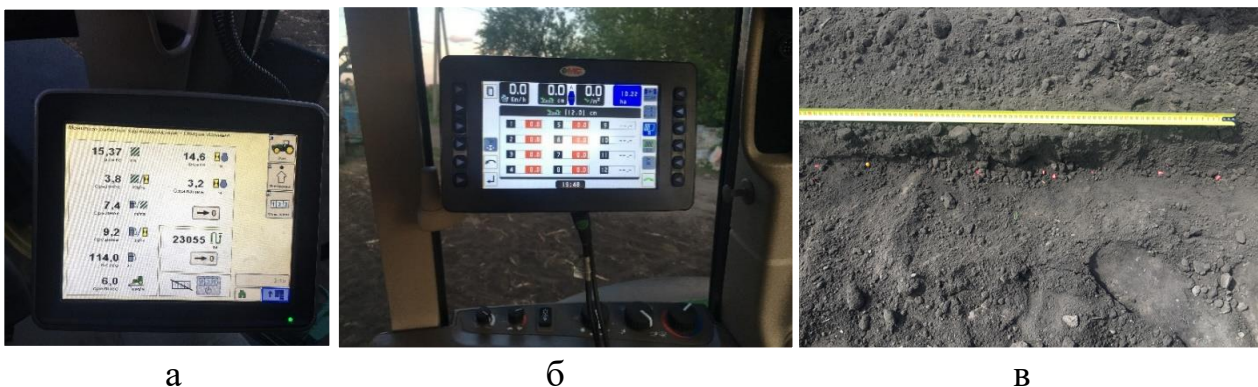


Рис. 12. Визначення показників якості та техніко-технологічних параметрів роботи посівного агрегату в складі: John Deere 6195 M + Vega 8 Profi на різних режимах роботи: а – монітор трактора; б – монітор сівалки; в – безпосередній контроль якості сівби



Використання наведених методик дослідження показників дало змогу створити базу з більшим масивом даних, що значно підвищило адекватність розроблених моделей. У випадку відсутності сенсорів для контролю, використовувалися вітчизняні та зарубіжні методики дослідження якісних показників виконання механізованих технологічних операцій. Наприклад, дослідження якості проведення обприскування на різних режимах, з різною висотою штанги та з різною віддаллю між форсунками (рис. 13).



Рис. 13. Визначення показників якості та техніко-технологічних параметрів роботи обприскувача Horsch Leeb: а – прохід обприскувача по полю; б – визначення якості розпилювання на диференційованій висоті

Під час дослідження збирання визначалися втрати зерна та його травмованість. Втрати визначали, використовуючи лотки (рис. 14), які розміщували під комбайном. Отриману масу після проходу комбайна відсортовували за допомогою мобільної лабораторії (рис. 15) та проводили зважування за допомогою терезів. Отримані результати заносили до журналу спостережень.



Рис. 14. Визначення втрат після проходу комбайну на площі 1 м<sup>2</sup>



Рис. 15. Провіювання рослинної маси за допомогою мобільної лабораторії

Ці та інші матеріали лабораторно-польових досліджень використовувалися в подальших дослідженнях дисертації.

Обчислювальні експерименти проводилися із використанням розробленої методики визначення техніко-експлуатаційних показників та показників якості «Машинний агрегат».

Сучасні методи інформаційних технологій дають змогу значно спростити та здешевити результати оцінювання роботи машинних агрегатів. Результати розрахунків, отримані в лабораторних умовах, відповідають результату хронометражних спостережень у виробничих умовах (різниця становить менше 5 %).

Вхідними параметрами комп'ютерної програми «Машинний агрегат», яка входить до структури «Механізовані агротехнології. Якість та ефективність» є конструктивні параметри енергетичних засобів і агромашин, а також агрокліматичні та фізико-механічні умови їхньої роботи під час виконання тих чи інших механізованих операцій за умови забезпечення агротехнічних вимог.

Основними вихідними параметрами реалізації програми є результати роботи машинних агрегатів з урахуванням вартості та якості виконання механізованих робіт.

У четвертому розділі **«Зміна властивостей ґрунту, посівного матеріалу й рослини і різні періоди виробничого процесу (результати досліджень)»** викладено результати досліджень змін середовища в процесі зміни умов росту та розвитку рослин і властивостей самої рослини.

Стан ґрунту та поліпшення його властивостей у період створення умов для росту та розвитку рослини.

Вивчення польових умов показало, що після збирання залишається велика кількість рослинних решток, які під час обмолоту пройшли через збиральний комбайн, також на поверхні поля присутня рослинна маса бур'янів, стерня та сліди від проходження по поверхні поля агрегатів під час виконання попередніх операцій, збирального комбайну та машин для транспортування зерна (рис. 16).



Рис. 16. Розподілення рослинних решток по полю після збирання озимої

Дослідженнями встановлено, що після обмолоту озимої пшениці подрібнені комбайном рослинні рештки розподіляються нерівномірно по ширині захвату комбайна. Водночас крива розподілу описується рівнянням:

$$y = -4,89x^2 + 40,05x - 26,82, \text{ г/м}^2, \quad (20)$$

де  $y$  – маса рослинних решток у класі,  $\text{г/м}^2$ ;  $x$  – порядковий номер класу, з кроком 0,5 м.

Встановлено, що частина подрібненої маса розсіюється на нескошене поле, яке в подальшому погіршує процес обмолоту у разі наступного проходу комбайна. Крім того, за післязбирального обробітку ґрунту погіршуються показники якості виконання технологічних операцій (рівномірність по глибині обробітку, подрібнення та загортання рослинних решток у ґрунт).

Дослідженнями встановлено, що 60–75 % з усіх втрат зерна за молотаркою зосереджується у валку соломи безпосередньо за подрібнювачем. Суттєва проблема виникає під час обробітку відповідних смуг пестицидами, водночас на них необхідно витратити більшу норму (частину пестициду забирають на себе рослинні рештки; на полосах залишається велика кількість рослин). Умови, залишені після попередника, не створюють оптимальних умов для максимальної реалізації біологічного потенціалу рослин. Першочергово, це переущільнення ґрунту, яке має показники від  $1,3 \text{ г/см}^3$  і вище, що не відповідає оптимальним потребам рослини. За таких умов вирощування культури розвиток кореневої системи знижує інтенсивність розвитку, що прямо впливатиме на врожайність. Ущільнені шари перешкоджають накопиченню вологи в ґрунті та використанню ґрунтових вод рослинами, обмежують розвиток кореневої системи. Другою, встановленою під час дослідження проблемою, була проблема зі стернею від озимої пшениці, яка утворює тонкі трубочки, а їх на 1 га від 3,5 до 5,5 млн шт., через які йде інтенсивне випаровування вологи з ґрунту.

Інтенсивність випаровування вологи залежить від фактично наявної вологи в ґрунті, його структури, температури повітря та ґрунту, сили вітру, вологості повітря. Істотно впливає на інтенсивність випаровування вологи з ґрунту вид основного обробітку та наявність рослинних решток на поверхні ґрунту.

Дослідження закладання рослинних решток після збирання кукурудзи на зерно показує, що за один прохід дискових знарядь заробити рослинні рештки



не вдається. Кількість зароблених решток на рівні 55–85 %. Нерівномірність розподілення решток значно перешкоджає рівномірності руху агрегату по глибині, у місцях накопичення соломи зміна глибини коливається в межах  $\pm 30$  % від заданого показника. Це негативно впливає на рівномірність поверхні поля. Насіння падалиці та бур'янів закладається на рівні 75–100 % (залежно від рівномірності розподілення решток). Додатково подрібнюється солома. Дослідження якості проведення дискування після озимої пшениці показує, що характерною особливістю є те, що солома дисками не розрізається, а розривається. Цей процес супроводжується також і поздовжнім руйнуванням цілісності стебла, що призводить до його швидшого розкладання. Негативним є утворення під робочими органами ущільнюючого шару на глибині 10–14 см. Це знижує показник ефективності заданого виду обробітку щодо ефективності реалізації біологічного потенціалу рослин.

Досліджуючи поле після збирання кукурудзи на зерно, виявлено недотримання вимог щодо інтенсивності подрібнення стебел. Вони подрібнені на 1–3 частини, а інколи взагалі зрізані лежать на поверхні поля без розділення на частини. Поздовжнє пошкодження цілісності стебла перебуває в межах 5–43 %. Від 10 до 19 % стебел стояли взагалі на кореню не зрізані. Якість обмолоту комбайнами була також на низькому рівні. Водночас, на полі були виявлені втрати від перевантаження зерна на автомобіль. Після проходження комбайнів втрати зерна в качанах сягали в середньому 8–10 %. Слід зауважити, що після збирання кукурудзи на поверхні поля були наявні сліди від ходових систем комбайнів та автомобілів у великій кількості.

Дослідженнями встановлено, що рослинні рештки після збирання кукурудзи мали низький ступінь подрібнення, висота стерні сягала 300 мм, що в подальшому впливає на якість виконання подальших технологічних операцій та знижує майбутній врожай. Зниження кількості внесення органічних добрив у ґрунт останнім часом істотно впливає на структуру ґрунту. Так, щільність ґрунту знизилася від природної  $1 \text{ г/см}^3$  (за Медведєвим) до сучасної  $1,27\text{--}1,40 \text{ г/см}^3$ . За дослідженнями Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН сьогодні є можливість внесення органіки не більше ніж  $0,6 \text{ т/га}$ , і це з урахуванням відходів ферм великої рогатої худоби, свинокомплексів особистих господарств населення.

Сучасне ставлення агровиробників до рослинних решток істотно впливає на реалізацію біологічного потенціалу рослин. За результатами польових досліджень встановлено, що робота з рослинними рештками проводиться мінімальна, до 15 % їх залишається на поверхні поля та не перегниває впродовж року. Це створює перепону для нормального передпосівного обробітку ґрунту і проведення сівби наступної культури. Особливо це стосується рослинних решток після збирання кукурудзи на зерно.

Під час проведення сівби озимих культур особливе занепокоєння, крім рослинних решток, викликає кількість вологи у верхньому шарі ґрунту. Її кількість, яка необхідна для проростання насіння, складає 18 мм, а в Сумській області на час сівби всього 15 мм. Це є результатом утворення плужної підшви (волога не може підніматися нагору) та відсутністю опадів. Відсутність суттєвих

опадів у період із кінця липня до середини жовтня впливає й на інтенсивність розкладання рослинних решток. Також варто звернути увагу на агрегатний стан посівного шару. Дослідженнями встановлено, що грудки розміром понад 25 мм знаходяться в посівному шарі, а не на поверхні ґрунту. Це негативно впливає на стартові умови розвитку посівного матеріалу. Після сівби проводиться прикочування. Це забезпечує вирівнювання поверхні, збільшує контакт насіння з ґрунтом, але призводить до переущільнення ґрунту в місцях проходження рушіїв і робочих органів, на заводнених місцях ущільнюється ґрунт, волога не проникає до нижніх шарів, а видувається і випаровується, аеробні організми під шаром води не розмножуються (рис. 17).

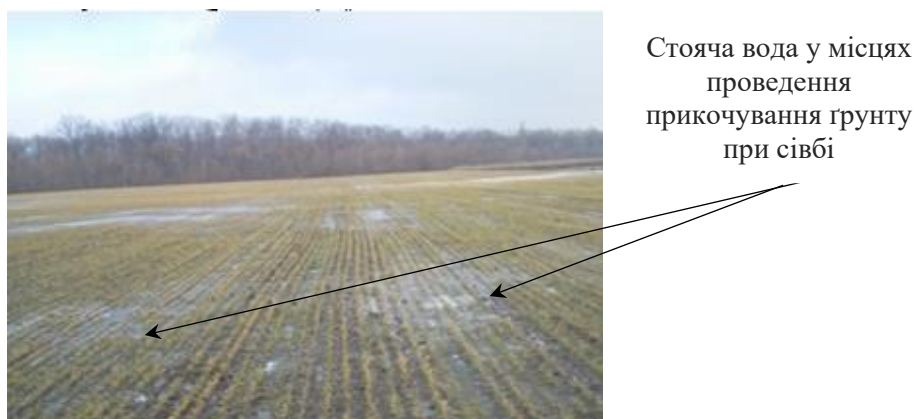
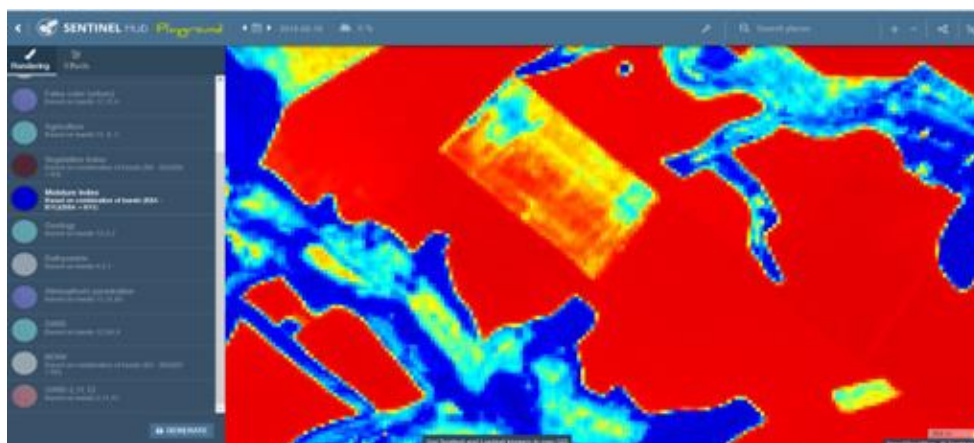


Рис. 17. Вигляд коткованого поля після опадів

Аналізуючи моніторинг знімків із супутника та безпілотних літальних апаратів розвитку рослин, виявлено розвиток рослин у межах одного поля. Для аналізу зміни інтенсивності розвитку рослин та умов довкілля використано цифровий ресурс: [apps.sentinel-hub.com](https://apps.sentinel-hub.com). Поле досліджувалося у період: сівба – догляд за посівами – збирання за такими фільтрами: аналіз індексу SWIR; аналіз індексу NDVI; аналіз індексу Moisture Index; аналіз індексу Vegetation Index; аналіз Color Infrared. Індекс посухи Moisture Index (рис. 18) підходить для визначення впливу посушливих умов на аграрне виробництво, оскільки він швидко реагує на мінливі умови середовища. Він розраховується через вирахування різниці між потенційним сумарним випаровуванням і вологістю.



Знімок поверхні поля 16.06.18

Рис. 18. Аналіз індексу Moisture Index у період вегетації озимої пшениці

Використання цифрових ресурсів дає можливість контролювати процес розвитку кожної окремої ділянки поля. Визначаємо температуру повітря і ґрунту; інтенсивність розвитку рослин, вологість у конкретний час, відслідковуємо їхню динаміку в часі.

На час настання строку збирання агрокультур вологість зерна повинна становити 16–20 %, вологість ґрунту в шарі 0–10 см повинна бути на рівні 16–18 %, вологість стеблової маси до 50 %.

Показники агровимог до операції збирання кукурудзи на зерно й реальні їхні показники наведено у табл. 4.

Таблиця 4

**Реальні значення показників відповідно до потреб рослин  
за збирання кукурудзи на зерно в реальних умовах**

Показник	Значення показника	
	Реальні	за агровимогами
Вологість повітря, %	82	60
Швидкість вітру, м/с	0,6	0
Вологість ґрунту у шарі 0–10 см, %	22	18
Твердість ґрунту у шарі 0–10 см, МПа	1,6	2,2
Забур'яненість поля до проходу агрегату, шт./м <sup>2</sup>	6	0
Висота стерні (зрізу), см	30	30
Вологість матеріалу (рослинних решток), %	66,67	50
Маса рослинних решток, г/м <sup>2</sup>	2684	Залежно від урожаю

Аналізуючи отримані результати досліджень, було встановлено, що умови проведення збирання культур істотно відрізняються від оптимальних. Підвищення вологості повітря і ґрунту, які пов'язані з випаданням опадів, обмежили якість проведення збиральних робіт. Підвищена вологість зерна пшениці змінювала час проведення збирання, що призводило до зниження не тільки кількісних, а і якісних показників врожаю. Додатковий негативний ефект був від підвищеної вологості стеблової маси, що під час збирання підвищувало вологість зерна на 2–5 %.

Зволожений ґрунт піддається підвищеному ущільненню, у зв'язку з чим, збирання сої проводять уперек сівби. Це підвищує вібрацію комбайна та втрати зерна.

У п'ятому розділі «Техніко-технологічні параметри та показники роботи машинних агрегатів у сучасних технологіях виробництва продукції рослинництва» наведено результати обчислювального експерименту згідно з теоретичною частиною. Наприклад, дослідженнями встановлено, що вищий показник якості має машинний агрегат John Deere 8260R + Horsch Maestro 16. У табл. 5 наведено зміни техніко-економічних та якісних показників роботи посівного агрегату, наведено залежності коефіцієнта якості від робочої швидкості (рис. 19).

Аналіз таблиці показує, що найбільший вплив на коефіцієнт якості мають: глибина сівби, робоча швидкість та довжина робочих гонів, найменший – твердість ґрунту. Отримані залежності зміни коефіцієнта якості від довжини

гону та від робочої швидкості за сівби агрегатом John Deere 8260R + Horsch Maestro 16 (рис. 20 та 21).

Таблиця 5

**Техніко-економічні показники машинного агрегату  
у складі John Deere 8260R + HORSCH Maestro 16**

Твердість ґрунту, кПа	Глибина обробітку, см	Довжина гонів, м	V, км/год	W, га/год	Затрати праці, люд-год/га	Витрата палива, кг/га	ПЕЗ, грн/га	Коефіцієнт якості
35	5	800	13	3,50	0,285	3,39	443,79	0,86
55	5	800	13	3,48	0,287	3,80	451,17	0,87
75	5	800	13	3,46	0,289	4,20	458,14	0,84
55	3	800	13	3,51	0,285	3,27	441,42	0,85
55	5	800	13	3,48	0,287	3,80	451,17	0,87
55	7	800	13	3,44	0,290	4,32	461,16	0,83
55	5	600	13	3,44	0,291	3,84	457,36	0,85
55	5	800	13	3,48	0,287	3,80	451,17	0,87
55	5	1000	13	3,50	0,285	3,77	447,78	0,89
55	5	800	10	2,68	0,373	4,10	589,20	0,83
55	5	800	13	3,48	0,287	3,80	451,17	0,87
55	5	800	16	4,27	0,234	3,65	366,18	0,85

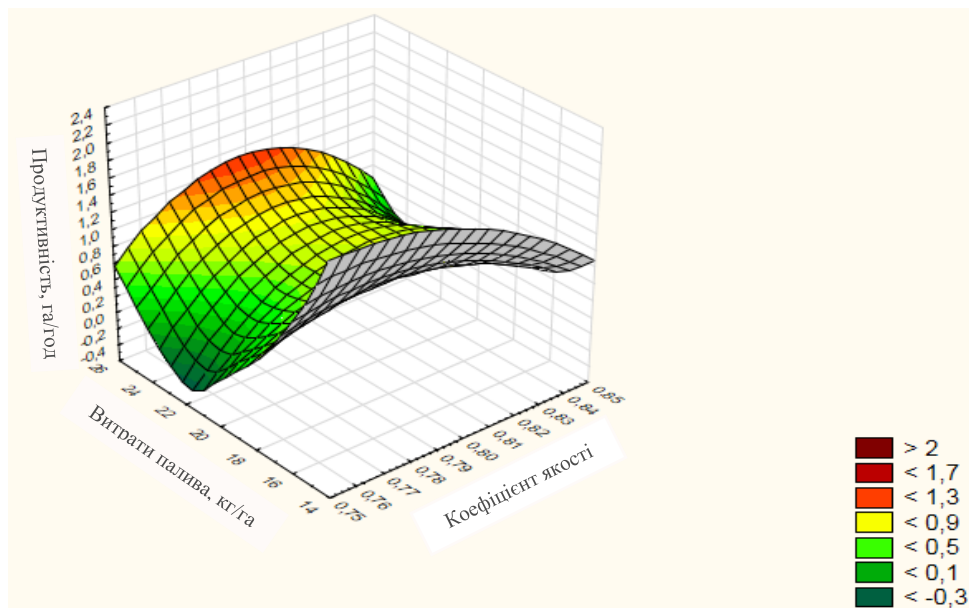


Рис. 19. Графік залежності швидкості руху, витрати палива та якості виконання технологічної операції

Встановлено, що найвище значення коефіцієнта якості за твердості ґрунту в межах від 45 до 55 кПа та за робочої швидкості в інтервалі від 11,5 до 13 км/год. Критерій Фішера для твердості ґрунту становить  $F_{розр}=33,35 > F_{табл}(1,7)=5,59$ , а для швидкості –  $F_{розр}=15,78 > F_{табл}(1,8)=5,32$ .

Встановлено, що результати, отримані експериментальним шляхом і розраховані системою «Механізовані агротехнології. Якість та ефективність», відрізняються в межах 5 %.

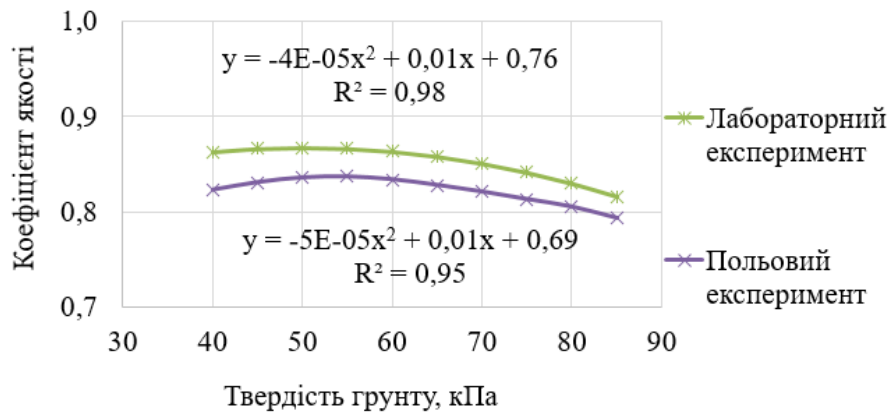


Рис. 20. Залежність коефіцієнта якості посівного агрегату John Deere 8260R + Horsch Maestro 16 від довжини гону

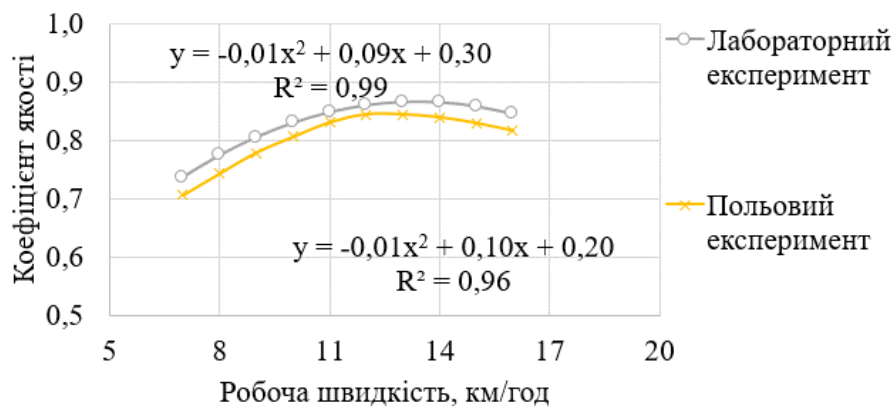


Рис. 21. Залежність коефіцієнта якості посівного агрегату John Deere 8260R + Horsch Maestro 16 від робочої швидкості

Досліджуючи зміну коефіцієнта якості машинного агрегату John Deere 8260R + Horsch Maestro 16, залежно від умов виконання посіву встановлено, що у разі підвищення твердості ґрунту від 35 до 75 кПа коефіцієнт якості знижується в межах 2 %, за збільшення глибини посіву від 3 до 7 см коефіцієнт якості знижується в межах 1,8 %, за зміни швидкості від 10 до 16 км/год, коефіцієнт якості зростає на 1,9 %. Отже, найбільший вплив на коефіцієнт якості має зміна довжини гону поля: у разі збільшення довжини гону поля від 600 до 1000 м коефіцієнт якості зростає на 4,3 %.

Отже, модель повністю відповідає параметрам роботи машинних агрегатів у реальних умовах.

У табл. 6 приведено результат розрахунку технології вирощування кукурудзи на зерно в реальних умовах, а в табл. 7 представлено комплекс машин для вирощування культури на 100 га. Вихідними даними є: культура – кукурудза; планова врожайність – 90 ц/га; агромашини та енергетичні засоби – каталог техніки та результати польових досліджень.

Коефіцієнт використання комплексу машин для визначених умов дорівнює 0,43. Для його збільшення до оптимальної величини – 0,70, обсяг виробництва повинен складати від 600 га.

## Результат розрахунку технології вирощування кукурудзи на зерно

Операція	Коефіцієнт впливу операції на $U$	Машинний агрегат	Коефіцієнт якості роботи МА	Зниження $U$ , т/га	ПЕЗ МА, грн/т	Вартість роботи МА, грн/т
Лущення стерні	0,0200	John Deere 6110 B + ДукаТ-2,5	0,80	0,36	614,53	8,27
Навантаження міндобрив	0,0015	Belarus 892 + ПС-0,5/0,8Д	0,88	0,02	4,92	0,07
Транспортування міндобрив	0,0015	ГАЗ3302-41	0,89	0,01	51,2	0,69
Внесення міндобрив	0,0750	John Deere 6110 B + МВД-0,5	0,75	1,69	52,40	0,71
Оранка	0,0650	John Deere 6095 B + EurOpal 5	0,81	1,11	2473,72	33,29
Передпосівна обробіток	0,0500	John Deere 6110 B + POLARIS 4	0,75	1,13	296,06	3,98
Навантаження насіння та міндобрив	0,0015	Belarus 892 + ПС-0,5/0,8Д	0,88	0,02	4,92	0,07
Транспортування насіння та міндобрив	0,0015	ГАЗ3302-41	0,89	0,01	51,2	0,69
Сівба	0,2141	John Deere 6095 B + VEGA 6	0,85	2,89	366,18	4,93
Транспортування та приготування розчину засобів захисту рослин	0,0002	Belarus 892 + Бочка	0,89	0,01	56,54	0,76
Внесення засобів захисту рослин	0,1130	John Deere 6135 B + Horsch LEEB 4 LT	0,87	1,32	83,56	1,12
Навантаження міндобрив	0,0015	Belarus 892 + ПС-0,5/0,8Д	0,88	0,02	4,92	0,07
Транспортування міндобрив	0,0015	ГАЗ3302-41	0,89	0,01	51,2	0,69
Міжрядний обробіток + підживлення	0,1350	John Deere 6110 B+ALTAIR 5,6-04	0,77	2,79	193,93	2,61
Транспортування та приготування розчину інсектицидів	0,0010	Belarus 892 + Бочка	0,89	0,01	56,54	0,76
Внесення інсектицидів	0,1600	John Deere 6135 B + Horsch LEEB 4 LT	0,87	1,87	83,56	1,12
Збирання	0,1550	CLAAS Tucano 430	0,83	2,37	2040,02	27,45
Транспортування зерна	0,0029	IVECO 440	0,79	0,05	6,91	0,09
Всього	1,000		15,69	6492,31	87,28	
Реальна урожайність, т/га				74,31		
Вартість механізованих робіт, грн/т					87,37	

**Комплекс машин для вирощування кукурудзи на зерно**

Назва	Марка машини	Кількість машин	Коефіцієнт якості	Коефіцієнт завантаження
Енергетичні засоби				
Трактор колісний	John Deere 6095B	2	0,94	0,06
Трактор колісний	John Deere 6110B	2	0,94	0,04
Трактор колісний клас 1,4	Belarus 892	2	0,89	0,01
Комбайн зернозбиральний	Tucano 430	1	0,86	0,26
Автомобіль вантажний	ГАЗ 3309-35	1	0,88	0,01
Автомобіль вантажний	IVECO 440	1	0,95	0,04
Трактор колісний	John Deere 6135B	1	0,95	0,01
Агромашини				
Дискова борона-луцильник	Дукат-2,5	1	0,90	0,26
Навантажувач фронтальний	ПС-0,5/0,8Д	1	0,86	0,01
Машина для внесення добрив	МВД-0,5	1	0,83	0,04
Плуг	ErOpal 5	1	0,93	0,62
Комбінований агрегат	Polaris 4	2	0,85	0,07
Сівалка для кукурудзи	Vega 6	2	0,87	0,3
Культиватор для міжрядного обробітку ґрунту	Altair 5,6	1	0,81	0,09
Машина для тр-ня води	МЖТ-Ф-6	1	0,91	0,01
Обприскувач штанговий	Horsch 4 LT	1	0,96	0,02

Достовірність отриманих за допомогою розробленої математичної моделі даних було підтверджено польовими дослідженнями реальних машинних агрегатів. Так, на рис. 22 наведено результати польових досліджень та результати розрахунків, отриманих за допомогою математичної моделі роботи обприскувача Case IH Patriot 3230.

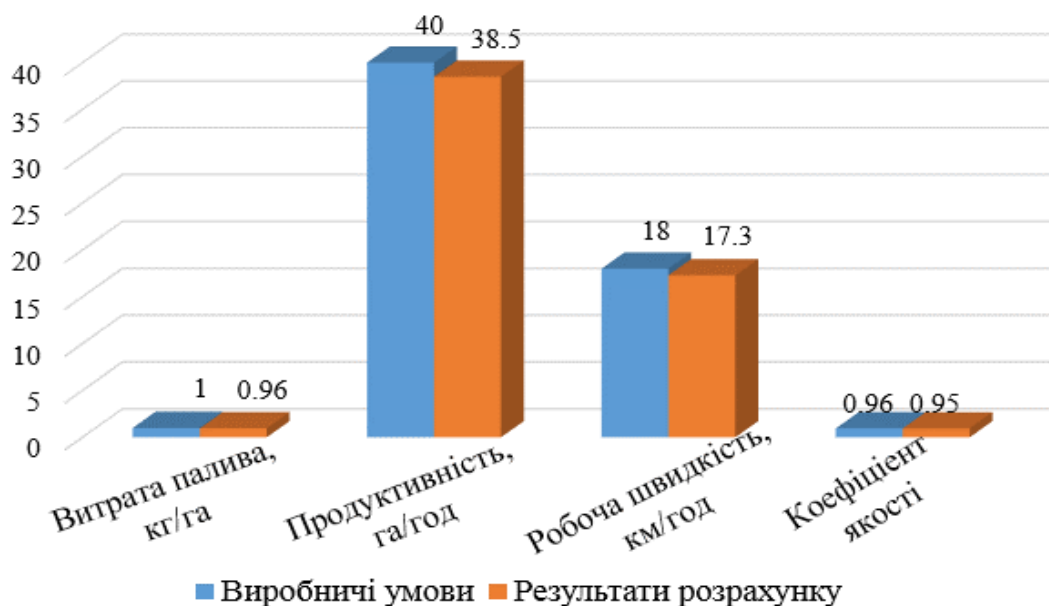


Рис. 22. Графік дослідження технічних показників роботи самохідного обприскувача Case IH Patriot 3230 під час обприскування ріпаку в польових умовах та з використанням математичної моделі Машинний агрегат



З аналізу рис. 14 встановлено, що різниця теорії і практики за дослідження обприскувача Case IH Patriot 3230 під час обробки ріпаку на витраті палива перебуває в межах 4 %; за дослідження продуктивності різниця перебуває в межах 3,8 %; за дослідження робочої швидкості різниця складає 3,9 %, дослідження якості перебуває в межах 1 %.

У шостому розділі «Забезпечення потреб рослин сучасними машинними агрегатами за рахунок реалізації агротехнічних вимог» приведено результати досліджень чинників впливу на ріст і розвиток рослин. Розроблення вимог щодо середовища росту та розвитку рослин та їхнє покращення з використанням машинних агрегатів. Наприклад, сівба кукурудзи на зерно вимагає потреби, наведені в табл. 8.

Таблиця 8

### Потреби рослин за сівби кукурудзи

Показник	Значення
Температура ґрунту в 10 см шарі, °C	+19
Відносна вологість ґрунту, %	50
Запаси продуктивної вологи за фазах розвитку зернових культур, мм у шарі: сівба – сходи, 0–10 см	10
Кислотність ґрунту, pH	6,5–7,5
Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	1,1–1,3
Пористість ґрунту, %	10–22
Оптимальна область опромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	700–1200
Мінімальний та максимальний температурний режим для асиміляції, °C	12–38
Розмір ґрунтових часток у ростковій зоні, мм	1–5
Наявність грудок більше 10 мм	0
Фракція посівного матеріалу, г	фракція насіння більше 200

Існує безліч чинників, які негативно впливають на умови росту та розвитку рослин, тим самим погіршуючи реалізацію біологічного потенціалу культури. До них належить постійне підвищення щільності ґрунту, утворення плужної підшви, зниження капілярності ґрунту та інше. Для забезпечення потреб агрокультур використовують засоби механізації. Водночас використання машинних агрегатів обмежується умовами, які залежать від складу машинного агрегату, умов його використання та діяльності людини (табл. 9).

Значення показників забезпечення потреб рослин під час сівби дещо відрізняються від аналогічних показників технологічних можливостей агромашин. Так, наприклад, оптимальна вологість при сівбі кукурудзи на зерно має становити за агровимогами – 50 %, а машинний агрегат, який виконує сівбу, потребує вологості ґрунту не більше 40 %. Отже, за показниками технологічних можливостей машин зміщуються строки сівби, що призводить до втрати врожаю.

Зміна умов росту й розвитку рослин веде до втрати якісних показників. Агротехнічні вимоги до робочих органів машин та машинних агрегатів базуються на потребах рослини для максимальної реалізації біологічного потенціалу, між тим використання машинних агрегатів обмежується



конструктивними особливостями, регульованими параметрами й технічним станом машини, а також умовами роботи: фізико-механічними властивостями ґрунту, рельєфом місцевості та ін.

Таблиця 9

**Чинники впливу на роботу машинних агрегатів**

Показник	Допустимі значення
Вологість ґрунту, %	до 40
Вологість повітря, %	40–60
Температура повітря, °С	5–15
Сила вітру, м/с	<3
Твердість ґрунту, МПа	до 3,5
Швидкість руху, км/год.	до 8–12
Рослинні рештки кількість рівномірність розподілення подрібнення	до 1 кг/м <sup>2</sup> рівномірно до 40 мм
Плужна підшва	відсутність
Тип ґрунту	легкий
Рельєф, °	до 3

Згідно з концепцією послідовність визначення агротехнічних вимог на основі агрономічних на прикладі механізованої операції «Сівба кукурудзи» складаються з показників потреб рослин, які можливо виконати за допомогою агрономічних з урахуванням показників роботи машинних агрегатів (табл. 10, 11). Під час сівби кукурудза на зерно вимагає конкретної норми висіву, глибини, рН, температури, вологості. Кожний показник агрономічних має долю впливу на подальшу зміну врожайності.

Таблиця 10

**Агровимоги до технологічної операції «Сівба кукурудзи»**

Показник	Значення		Доля впливу, %
Глибина сівби насіння, мм	50		6
Глибина внесення добрив, мм	55		2
Норма висіву насіння, тис. насінин	80		7
Норма внесення добрив, кг/га	120		3
Агрегатний стан ґрунту	<50 мм	90–100 %	3
	<0,25 мм	<5 %	
	>50 мм	<15 %	
Строк сівби у межах одного поля, год	12		7
Оптимальна площа живлення рослини, мм	179		6
Вологість, %	<60		11
Пористість, %	55		4
Покриття мульчою поверхні поля, %	100		5
Твердість ґрунту, МПа	1,1–1,4		6
Сила вітру, м/с	0		2
Температура, °С	8–12		12
Агροстроки	25 квітня		8
Інше			18
Всього			100

**Агротехнічні вимоги до механізованої технологічної операції  
«Сівба кукурудзи»**

Показник	Значення	Допуски	Ренкінг, %	Прилади контролю
Глибина сівби насіння, мм	50	±10	6	Лінійка, щуп, сенсор
Норма висіву насіння, тис. насінин	80	±4,8	7	Рулетка, сенсор
Глибини внесення добрив, мм	55	±10	2	Лінійка, щуп, сенсор
Норма внесення добрив, кг/га	120	±6	3	Лотки, ваги, сенсор
Строк сівби, год	12	12	7	Календар
Віддаль між насінинами, мм	179	±35,8	6	Лінійка, сенсор
Галопування посівного матеріалу, мм	30	+10		Лінійка
Ширина міжрядь, мм	700	0		Рулетка, навігаційна система
Ширини стикових міжрядь, мм	700	±50		Рулетка, навігаційна система
Вирівняність поверхні поля (висота гребнів), мм	10	±5	2	Шнур для виміру профіля поля, профіломір
Інше			67	
Всього			100	

Оскільки засоби механізації не можуть забезпечити всі потреби рослини, з агровимог вибираються ті, які може виконати агромашина. У зв'язку з тим, що техніка не завжди може точно виконати агровимоги, встановлюються допуски. Перетворені агровимоги, з урахуванням можливостей машин із допусками та термінами за агротехнічними вимогами, є агротехнічні вимоги – оцифровані потреби.

Доведено, що потреби рослин і можливість забезпечити цей показник машинним агрегатом не збігаються (див. табл. 10, 11). Аналіз даних свідчить, що з агровимог в агротехнічні вимоги перейшло лише 50 % показників. Сучасні досягнення й можливості промисловості не можуть створити машину, яка б забезпечувала всі потреби рослин у повному обсязі. Результати аналізу свідчать, що під час сівби кукурудзи на зерно забезпечується потреби лише на 33 %, що є резервом для розвитку галузі аграрного машинобудування.

Приведено результати досліджень конкретних агротехнічних вимог до основних технологічних операцій. На основі отриманих результатів польових досліджень та аналізу літературних джерел розроблено вимоги до основних механізованих технологічних операцій з урахуванням сучасного стану розвитку агротехніки, технологічних процесів, зміною кліматичних умов, яким повинні відповідати робочі органи машинних агрегатів для якісного виконання

технологічних операцій, що досліджували. У табл. 12 наведено результати дослідження якості виконання дискування та визначено загальні значення показника якості на операції та машинних агрегатах. Результати досліджень підтверджують ефективність використання розробленої методики дослідження машинних агрегатів за якості виконання механізованих технологічних операцій за показником відповідності потребам рослини.

Таблиця 12

### Результат оцінки роботи машинних агрегатів для проведення дискування

Показник	Пріоритетність вимог, %	Граничні розміри	Показник відповідності, балів	Машинний агрегат							
				John Deere 8400		T-150K		Fendt 936		Case 270	
				БДТ-10		БДТ-7,0А		БГР-6,7		БГР-4,2	
				Відповідність вимогам, %  кількість замірів							
Відхилення від заданої глибини обробітку, см	50	±1	100	10,0	4	10,0	4	10,0	4	12,5	5
		±(1–1,5)	80	17,5	7	70,0	28	12,5	5	72,5	29
		±(1,5–2)	60	67,5	27	17,5	7	75,0	30	15,0	6
		>±2	40	5,0	2	2,5	1	2,5	1	0,0	0
Оцінка за показником				66,5	40	77,5	40	66,0	40	79,5	40
Кількість непідрізаних рослин, шт. на 0,5 кв. м (0,5 – тому, що виготовлялися мірні рамки розміром 0,7×0,7 для зручності)	30	<4	100	77,5	31	12,5	5	12,5	5	2,5	1
		5–15	80	17,5	7	62,5	25	77,5	31	15,0	6
		16–25	50	5,0	2	20,0	8	7,5	3	75,0	30
		>25	20	0,0	0	5,0	2	2,5	1	7,5	3
Оцінка за показником				94,0	40	73,5	40	78,8	40	53,5	40
Гребенистість, см	20	<4	100	85,0	34	62,5	25	87,5	35	22,5	9
		>4	75	15,0	6	37,5	15	12,5	5	77,5	31
Оцінка за показником				96,3	40	90,6	40	96,9	40	80,6	40
Загальні значення показника якості	100			80,7	120	78,9	120	76,0	120	71,9	120

Аналіз табл. 12 показує, що агрегат у складі John Deere 8400 + БДТ-10 має найбільше загальне значення показника якості, яке дорівнює 80,7. Водночас машинний агрегат у складі Case 270 + БГР-4,2 має найнижче загальне значення показника якості на дискуванні, яке дорівнює 71,9. Залежність зміни коефіцієнта якості від робочої ширини захвату для дискових борін представлено на рис. 23.

Аналіз рис. 23 показує, що на показник якості також мають вплив і конструктивні параметри, наприклад, ширина захвату. Так, за зміни робочої ширини захвату машинних агрегатів із дисковими бородами з 4,2 до 10 м показник якості підвищується на 10–12 %. Встановлено, що зі збільшенням ширини захвату дискових знарядь якість підвищується й описується логарифмічною залежністю:  $y = -0,17x^2 + 3,99x + 58,17$ ; критерій Фішера складає:  $F = 103,57 > F(1,9) = 5,12$ .

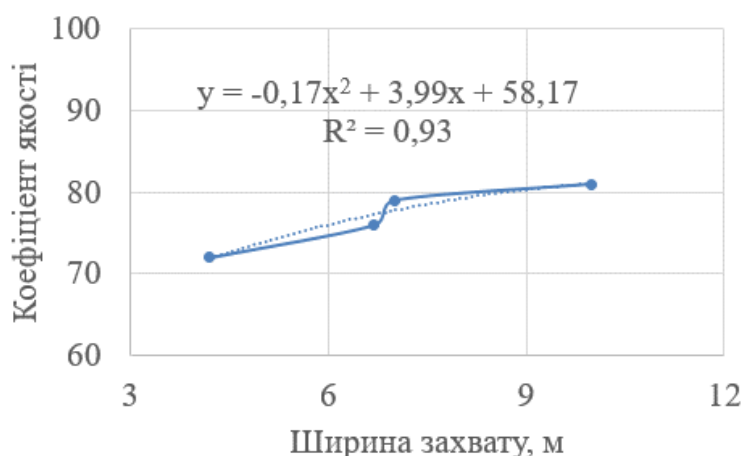


Рис. 23. Залежність показника якості від робочої ширини захвату дискових борін

У цьому розділі «Економічна оцінка та пропозиції науково-навчальним та конструкторським організаціям» наведено результати економічної ефективності впровадження систем, їхній вплив на екологію та пропозиції.

Економічна ефективність роботи машинних агрегатів оцінювалася за порівняння кривої накопичення біомаси у разі забезпечення агротехнічних вимог та накопичення біомаси за технологічними можливостями агротехніки (див. рис. 8). Втрати врожаю від недовиконання якості розраховується за інтегральною формулою (18). Рівняння, які описують криві накопичення біомаси для обох випадків, дорівнюють:

$y_1(t) = 0,004004321 \cdot t^2 - 0,89884444 \cdot t + 51,26697022$ , з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,98$  – рівняння кривої реалізації біологічного врожаю в термін від 125 до 240 дня, при реалізації біологічного потенціалу при забезпеченні агротехнічних вимог;

$y_2(t) = -0,00707 \cdot t^2 + 4,189697 \cdot t - 530,327$ , з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,99$  – рівняння кривої реалізації біологічного врожаю в термін від 240 до 300 дня, за реалізації біологічного потенціалу за забезпечення агротехнічних вимог;

$y_3(t) = 0,001959 \cdot t^2 - 0,34151 \cdot t + 13,37284$ , з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,99$  – рівняння кривої реалізації біологічного врожаю в термін від 125 до 240 дня, за реалізації біологічного потенціалу за технологічними можливостями агротехніки;

$y_4(t) = -0,01475 \cdot t^2 + 8,400606 \cdot t - 1120,75$ , з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,99$  – рівняння кривої реалізації біологічного врожаю в термін від 240 до 300 дня, за реалізації біологічного потенціалу за технологічними можливостями агротехніки.

Покращення екологічних аспектів, впровадження сучасних систем можливі завдяки зменшенню викидів відпрацьованих газів, зменшенню норми внесення засобів захисту рослин без шкоди для рослин.

Аналізуючи процес внесення засобів захисту рослин та мінеральних елементів живлення, встановлено, що актуальною проблемою для екології

є зменшення дози внесення хімічних препаратів. Завдяки запропонованій схемі внесення засобів захисту рослин зменшуються витрати робочого розчину на 20 %.

Розглянемо зміни викидів у довкілля на прикладі внесення ґрунтового гербіциду Челлендж. За результатами дослідження було запропоновано класифікувати його як подразнюючу речовину, шкідливу і, можливо, канцерогени (категорія 3). Отже, забезпечення якості технологічного процесу дає змогу зменшити кількість розчину, який вноситься. Відповідно зменшуємо концентрацію решток Аклоніфенону в ґрунті. Результати експериментів показують, що використання у виробництві оприскувачів з удосконаленою штангою зменшує навантаження від робочого розчину на довкілля. Доза внесення препарату зменшується на 20 %.

Викладені напрями покращення кількісних і якісних показників врожаю агрокультур. Для виробництва актуальним є підвищення ефективності в межах наявної технології та конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Актуальні задачі аграрного виробництва майбутнього, покращення показників врожаю, зменшення впливу людського чинника – це задачі для науково-навчальних, виробничих та конструкторських установ.

У виробничих умовах ефективність роботи обприскувача полягає в зменшенні витрати робочої рідини завдяки зменшенню втрат під час розпилення. Один із варіантів, який дає змогу зменшити втрати рідини, – використання штанги з розташуванням форсунок через 25 см (на всіх використовується 50 см). Це дасть змогу зменшити втрати рідини на 15–20 %. Відповідні дані підтверджено польовими дослідженнями, тому дане направлення є актуальним і відповідні результати необхідно використовувати під час розроблення подальших поколінь оприскувачів.

Великі втрати засобів захисту рослин відбуваються за рахунок роботи обприскувачів за швидкості вітру понад 5 км/год; під час «закритого листа» (температура на рівні листа нижче 10 °C або вище 25 °C); значній вологості; атмосферному тиску повітря. Сучасні обприскувачі повинні бути обладнані такими засобами контролю. У разі виникнення ситуації з переходом за граничне значення показника операція повинна зупинятися, за можливості рухатися швидше – повинна бути автоматична команда. Це дасть змогу ефективно використовувати пестициди та зменшить навантаження на екологію через зменшення змивання рідини й необхідності повторного їхнього внесення.

Вивчаючи технологічну лінію з догляду за посівами, виявлено резерви для підвищення ефективності внесення засобів захисту рослин та мінеральних елементів живлення, які можуть бути реалізовані науково-навчальними, виробничими та конструкторськими установами. Базуючись на аналізі знімків із супутника та обстеженні полів за допомогою безпілотних літальних апаратів, встановлюються потенційно проблемні ділянки. На даних ділянках присутній високий ризик поширення хвороб та розмноження шкідників. Дослідження науковців в останні роки показали різке зростання захворюваності культур через виснаження ґрунту на макро- та мікроелементи. Усі ці чинники негативно впливають на коефіцієнт реалізації біологічного потенціалу культури.

Отже, актуальним є розроблення програмного продукту для збору та аналізу інформації з поля, визначення ділянок із високим ступенем ризику та контроль цих ділянок із використанням датчиків контролю. Визначення стану захворюваності рослин на основі отриманих даних дає можливість запустити процес внесення засобів захисту рослин із випередженням на 2–3 доби. Водночас використання в якості машини для локальної обробки безпілотними літальними апаратами, значно зменшує витрати на обробку, знижує кількість рідини (економія на засобів захисту рослин), менш агресивно впливає на довкілля, знижує інтенсивність розповсюдження шкідників та поширення хвороб.

Також дослідженнями встановлено, що значна частина хвороб та шкідників на рослині живуть знизу листка. Отже, для потрапляння робочої рідини на листок знизу, для підвищення ефективності використання обприскувачів, засоби захисту рослин необхідно вносити на нижню частину листа рослини або створювати потік завихрення. Для підготовки фахівця, адаптованого до умов сучасного аграрного виробництва та зі знаннями перспектив підвищення врожайності аграрних культур у аграрному підприємстві, доцільним є розробити та впровадити в навчальний процес дисципліну «Механізовані агротехнології», що вивчає агротехнічні вимоги і якість виконання технологічних операцій, розробити навчальний посібник із відповідного напрямку.

Розробити навчальну програму та запровадити курси підвищення кваліфікації для фахівців аграрних підприємств, які забезпечують роботу галузі рослинництва. Залучити до співпраці представників аграрного бізнесу для забезпечення матеріальної бази сучасними зразками техніки, програмним забезпеченням для аналізу якості виконання технологічних операцій у механізованих агротехнологіях.

## **ВИСНОВКИ**

1. Уперше досліджено потреби рослин на етапах їхнього росту й розвитку, описано систему функціонування технологічних процесів вирощування агрокультур з урахуванням накопичення біомаси залежно від ступеня забезпечення якості механізованих технологічних процесів, що дало можливість визначити агро вимоги до кожної технологічної операції у відповідності з технологією вирощування агрокультури.

2. Розроблено методику визначення агротехнічних вимог до кожної механізованої операції відповідно до агро вимог, з урахуванням додаткових показників, які виникають у результаті застосування засобів механізації з можливими допусками та впливом на ступінь забезпечення потреб рослин. Показники агротехнічних вимог мають бути структуровані за ренкінгом щодо впливу на накопичення врожайності. Експериментально встановлено, що сучасні сівалки, наприклад, Vega 8 Profi, можуть забезпечувати сівбу за вологи 35–39 %, на відміну від застарілих моделей, що збільшує приріст врожаю на 2,7 %. Отже, це дає підстави для коригування агротехнічних вимог – встановлення показника мінімальної вологості ґрунту за сівби на рівні 35 %.

3. Розроблена структура керованої системи механізованих агротехнологій, яка включає бази агрокультур; полів відповідного господарства та стан довкілля; технологічних операцій; агромашин; енергетичних засобів; систем контролю та визначення оцінки якості виконання механізованих технологічних операцій, що дало змогу розробити алгоритм та комп'ютерну програму для визначення раціональних параметрів машинних агрегатів та комплексів машин з урахуванням загальної якості виконання технологічного процесу.

4. Досліджено та уточнено значення коефіцієнтів опору перекочування, зчеплення ведучого апарату з ґрунтом та буксування для ґрунтів різної твердості для сучасних енергетичних засобів та агромашин із різними ходовими системами. Так, наприклад, для енергетичних засобів із гумовою гусеницею функції цих величин будуть такі:  $f = -0,015T^2 + 0,169T + 0,472$ ,  $\mu = -0,001T^3 + 0,015T^2 - 0,078T + 0,204$ ,  $\delta = 0,033\exp(7,154p) + 0,792$ .

Встановлено, що для пасивних ходових систем коефіцієнт опору перекочування більший на 0,02–0,03, ніж для активних. Встановлено залежність між питомим опором та твердістю ґрунту в межах орного шару, визначення експлуатаційних і якісних показників їхньої роботи співвідноситься з оцінкою ґрунту в галузі агрономії.

5. Удосконалено структурно-логічну схемк машинних агрегатів, з урахуванням різних енергетичних засобів, з різними ходовими системами, агромашин, способів їх агрегування та передачі енергії до робочих органів, що дало змогу значно удосконалити алгоритм та програму обґрунтування параметрів та режимів роботи машинних агрегатів, з урахуванням якості виконання технологічних операцій.

6. Встановлено, що сучасні широкозахватні, зі збільшеною кінематичною довжиною машинні агрегати, які працюють на підвищених швидкостях потребують більшого радіусу їх повороту. Мінімальний радіус повороту для сучасних машинних агрегатів залежно від його ширини захвату, яка описується такою формулою:  $R_n = 2,1\ln B + 3,7$ . Крім того, уточнено оптимальну ширину заїнок та їх кількість залежно від площі поля та довжини гонів для підвищення значення коефіцієнтів робочих ходів.

7. Для забезпечення агровимог, створення максимально однакових умов для агрокультури в межах одного поля та мінімізації строків виконання технологічної операції, розроблено складові часу доби щодо використання або простою машинних агрегатів. Це дає змогу підвищити показник забезпечення потреби рослин внаслідок удосконалення організації технологічного процесу.

8. Розроблено алгоритм обґрунтування та математичну модель визначення коефіцієнта якості виконання механізованих технологічних операцій  $k_a$ , які враховують виконання відповідних агровимог робочими органами агромашини з урахуванням їх ренкінгу, якості агрегатів і систем агромашини, які безпосередньо не працюють із продуктами обробітку.

9. Розроблено методологію економічного оцінювання механізованих агротехнологій, яка відрізняється від наявних тим, що дає змогу розрахувати фактичну врожайність культури з урахуванням її коливань упродовж росту

й розвитку, залежно від технології вирощування агрокультури та застосованого комплексу машин, у порівнянні з накопиченням врожайності за умови повного забезпечення потреб рослини. Це дає можливість провести оптимізацію технологічного процесу вирощування культури внаслідок забезпечення якості виконання механізованих технологічних операцій. Розроблено математичну модель, яка ґрунтується на різниці накопичення біомаси за забезпечення агротехнічних вимог та накопиченні біомаси за технологічними можливостями агротехніки.

10. Розроблено алгоритм та комп'ютерну програму «Машинний агрегат» для визначення техніко-експлуатаційних показників та показників якості механізованих операцій. На відміну від аналогів, програма дає змогу розраховувати машинні агрегати різних сучасних структурно-логічних схем з урахуванням забезпечення якості виконання технологічних операцій та оцінки впливу конкретного машинного агрегату на формування загальної врожайності агрокультури. Результати розрахунку, отримані за допомогою програми, відповідають результатам хронометражних спостережень у виробничих умовах (різниця складає менше 5 %).

11. Удосконалено алгоритм, математичну модель та комп'ютерну програму системи «Механізовані агротехнології. Якість та ефективність», яка відрізняється від наявних визначень якісного виконання технологічних операцій відповідно до агротехнічних вимог та їх впливу на формування врожайності агрокультури. Крім того, система дає змогу обґрунтовувати машинний парк господарства з визначенням комплексів машин для кожної агрокультури та оптимальну площу вирощування. Оцінювання раціонального вибору комплексу машин для забезпечення виконання механізованого технологічного процесу проводиться на підставі аналізу прямих витрат під час роботи машинних агрегатів на кожній операції та розрахункової урожайності з урахуванням коефіцієнта якості виконання механізованих операцій. Так, за результатами математичного моделювання технологічного процесу вирощування кукурудзи на зерно, зміна складу машинного агрегату з John Deere 6110 В та дисковою бороною Дукат-2,5 на John Deere 8335R з дисковою бороною Дукат-8 призвела до підвищення врожайності культури від 15,31 до 15,36 ц/га, (за планової врожайності 90 ц/га) та вартість роботи комплексу машин змінюється в діапазоні від 91,43 до 92,38 грн/га.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України

1. Мельник І. І., Сапсай В. І., Барабаш Г. І., **Зубко В. М.** Математична модель обґрунтування кількості агрегатів для виконання механізованих робіт. Таврійський державний агротехнологічний університет. 2010. Вип. 10. Т. 9. С. 125–129. *(Здобувачем здійснено аналіз зв'язку кількості агрегатів та тривалості проведення операцій з дотриманням якості виконання робіт).*

2. Зубко В. М. Обґрунтування вибору ефективного машинного агрегату для виконання механізованої технологічної операції. Вісник Харківського



національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2011. Вип. 107. С. 45–54.

3. Мельник І. І., Сапсай В. І., Барабаш Г. І., **Зубко В. М.**, Чуба В. В. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2011. Вип. 41. Ч. 1. С. 272–278. *(Здобувачем здійснено аналіз конструктивно-технологічних параметрів енергетичних засобів та сільськогосподарських машин).*

4. Зубко В. М. Технологічна та техніко-економічна оцінка машинних агрегатів при виконанні основного обробітку ґрунту. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2013. Вип. 135. С. 32–39.

5. Зубко В. М. Технологічна і техніко-економічна оцінка машинних агрегатів при проведенні догляду за посівами при вирощуванні сільськогосподарських культур. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2013. Вип. 185. Ч. 1. С. 352–363.

6. Зубко В. М. Аналіз етапів росту і розвитку рослини як основа для проектування комплексів машин та їх робочих органів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 148. С. 204–208.

7. Зубко В. М. Аналіз особливостей техніко-технологічного забезпечення вирощування озимої пшениці. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196. Ч. 2. С. 82–89.

8. Барабаш Г. І., Страхоліс І. М., **Зубко В. М.**, Барабаш О. Г. Вплив строків сівби на продуктивність та структуру гречки в зв'язку з обґрунтуванням використання комплексу машин. Інженерія природокористування. 2015. Вип. 1(3). С. 111–117. *(Здобувачем обґрунтовано оптимальні строки початку та тривалості сівби як основного показника агротехнічних вимог).*

9. Мельник І. І., **Зубко В. М.**, Хворост Т. В. Інформаційна технологія оцінки роботи машинних агрегатів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Вип. 156. С. 222–230. *(Здобувачем розроблено метод визначення показника якості роботи машинних агрегатів).*

10. Барабаш Г. І., **Зубко В. М.**, Барабаш О. Г. Вплив термінів сівби гречки та вибір комплексу машин для її збирання. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2016. Вип. 3(28). С. 88–93. *(Здобувачем обґрунтовано оптимальні строки проведення сівби, як показника агротехнічних вимог).*

11. Зубко В. М. Дослідження факторів впливу на рівномірність обробітку ґрунту при дискуванні. Інженерія природокористування. 2016. Вип. 1(5). С. 122–130.

12. Зубко В. М. Аналіз економічної ефективності традиційної та ресурсозберігаючих технологій вирощування озимої пшениці. Вісник Сумського

національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 40–43.

13. Зубко В. М. Дослідження якості виконання посіву. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 180. С. 263–273.

14. **Зубко В. М.**, Саєнко А. В. Вдосконалення методики визначення техніко-економічних показників агрегатів. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2018. Вип. 5 (33). С. 36–39. *(Здобувачем запропоновано підхід та методичний апарат визначення техніко-економічних показників роботи агрегатів з урахуванням витрат потужності на привід робочих органів через гідросистему).*

15. Зубко В. М. Обґрунтування розміщення культур у структурі полів та обсягів виробництва для механізованих технологічних операцій. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2020. Vol. 11. No 2. P. 107–113.

16. Зубко В. М. Обґрунтування та вибір агромашин за обраними робочими органами. Інженерія природокористування. 2020. Вип. 1 (15). С. 36–43.

17. Зубко В. М. Обґрунтування та вибір енергетичних засобів та агрегування агромашин. Інженерія природокористування. 2020. Вип. 2 (16). С. 107–112.

18. Зубко В. М. Залежність техніко-експлуатаційних показників орного агрегату від твердості ґрунту, глибини обробітку, довжини гону та робочої швидкості. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2020. Vol. 11. No 4. P. 161–167.

#### Статті у наукових виданнях інших держав

19. Мельник І. І., Сапсай В. І., **Зубко В. М.** Оптимізація параметрів роботи машинних агрегатів при виконанні польових робіт. MOTROL Motoryzacjai energetyka rolnictwa motorizatiom and power industry in agriculture. 2010. Tom 12 В. Р. 109–114. *(Здобувачем здійснено аналіз роботи ходових систем сучасних енергетичних засобів та опір, який виникає при їх роботі).*

20. **Зубко В.**, Онычко В., Хворост Т., Чуба В. Методика технологической и технико-экономической оценки машинных агрегатов при проведении предпосевной обработки почвы и посева озимой пшеницы. MOTROL Commission of Motorization and energetics in Agriculture. 2013. Vol. 15. No 3. P. 150–156. *(Здобувачем зроблено аналіз існуючих агротехнічних вимог до проведення передпосівного обробітку ґрунту та посіву; визначений показник якості роботи основних машинних агрегатів для операцій, які досліджувались).*

21. Зубко В. Оценка качества механизированных технологических операций в растениеводстве. MOTROL Commission of Motorization and energetics in Agriculture. 2015. Vol. 17. No 3. С. 259–263.

22. **Zubko V.**, Kuzina T. Investigation of the influence of winter wheat's location on plant's germination energy. Teka. Commission of motorization and energetics in Agriculture. 2015. Vol. 15. No 4. P. 103–106. *(Здобувачем*

*обґрунтовано необхідність забезпечення орієнтування посівного матеріалу під час сівби зерна озимої пшениці).*

23. **Zubko V.**, Roubík H., Zamora O., Khvorost T. Analysis and Forecast of Performance Characteristics of Combine Harvesters. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16 (5). P. 2282–2302. *(Здобувачем проведено дослідження якісних та технологічних показників роботи зернозбиральних комбайнів).*

24. **Zubko V.**, Khvorost T., Zamora O., Onychko V. Methods of Maintaining Soil Depth Evenness during Disk Tillage. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 2020. Vol. 51. P. 22–30. *(Здобувачем досліджено агротехнічні вимоги машинних знарядь з дисковими робочими органами; досліджено існуючі та альтернативні методи регулювання показників якості обробітку ґрунту дисковими боронами).*

### Патенти на корисну модель

25. **Зубко В. М.**, Сіренко В. Ф., Плавинський В. І., Кузіна Т. В. Зерновисівний пристрій. Патент України на корисну модель № 113823 Україна, МПК А01С 7/20. Заявник і патентовласник Сумський національний аграрний університет. № u2016 09567; заявлено 16.09.2016; опубліковано 10.02.2017. Бюл. № 3. *(Здобувачем здійснено патентний пошук і запропоновано конструкцію установки).*

26. Сіренко В. Ф., **Зубко В. М.**, Плавинський В. І., Кузіна Т. В. Спосіб розміщення насіння озимої пшениці в ґрунті при посіві. Патент України на корисну модель № 113837 Україна, МПК А01С 7/00. Заявник і патентовласник Сумський національний аграрний університет. № u2016 09785; заявлено 23.09.2016; опубліковано 10.02.2017. Бюл. № 3. *(Здобувач здійснено патентний пошук і запропоновано спосіб розміщення насіння озимої пшениці в ґрунті при посіві).*

### Тези наукових доповідей

27. **Зубко В. М.**, Кузіна Т. В. Конструктивні особливості сошників посівних машин для зернових культур. Гончарівські читання: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 87-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича, м. Суми, 26–27 травня 2016 року: тези доповіді. Суми, 2016. С. 40–41.

28. Зубко В. М. Альтернатива рядковому посіву. Прогресивні технології в сільському господарстві: 22 Міжнародна наукова конференція, м. Суми, м. Одеса, 12–17 вересня 2016 року: тези доповіді. Суми, Одеса, 2016. С. 37–38.

29. **Зубко В. М.**, Кузіна Т. В. Дослідження впливу розміщення зерна озимої пшениці у насінневому ложі для пришвидшення інтенсивності його проростання. Прогресивні технології в сільському господарстві: 22 Міжнародна наукова конференція, м. Суми, м. Одеса, 12–17 вересня 2016 року: тези доповіді. Суми, Одеса, 2016. С. 41.

30. **Зубко В. М.**, Кузіна Т. В. Інформаційна технологія дослідження роботи машинних агрегатів. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVII Міжнародна наукова конференція, присвячена 116-річчю з дня народження

академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Суми, 17–18 жовтня 2016 року: тези доповіді. Суми, 2016. С. 38–40.

31. **Зубко В. М.**, Хворост Т. В. Дослідження впливу швидкості руху на рівномірність глибини обробітку ґрунту при дискуванні. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVII Міжнародна наукова конференція, присвячена 116-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Суми, 17–18 жовтня 2016 року: тези доповіді. Суми, 2016. С. 40–41.

32. Сіренко В. Ф., **Зубко В. М.**, Кузіна Т. В. Розробка дослідної установки для вивчення процесу орієнтованого посіву зерна пшениці. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVII Міжнародна наукова конференція, присвячена 116-річчю з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Суми, 17–18 жовтня 2016 року: тези доповіді. Суми, 2016. С. 84–85.

33. **Зубко В. М.**, Крюков О. С. Дослідження рівномірності глибини обробітку ґрунту агромашиною ДукаТ 2,5. Інноваційні розробки в аграрній сфері: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 30 листопада 2017 року: тези доповіді. Х., 2017. С. 47–48.

34. Kuzina T., Sirenko V., **Zubko V.**, Chuba V. Increasing yields of winter wheat by means of sowing orientation of grain. Engineering for Rural Development: 17th International Scientific Conference, Jelgava Latvia, May 23–25, 2018: proceedings. Jelgava, 2018. Vol. 17. P. 688–696.

35. Зубко В. М. Дослідження якості виконання посіву. Гончарівські читання: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 89-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича, м. Суми, 24–25 травня 2018 року: тези доповіді. Суми, 2018. С. 128–129.

36. Зубко В. М. Будова рослин та пристосування робочих органів машин до їх обробітку при дискуванні. Експлуатаційна та сервісна інженерія: Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Харків, 28–29 травня 2019 року: тези доповіді. Х., 2019. С. 33–35.

## АНОТАЦІЯ

**Зубко В. М. Концепція забезпечення якості механізованих агротехнологій.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021.

Дисертацію присвячено забезпеченню якості механізованих агротехнологій через максимальне наближення агротехнічних можливостей машинних агрегатів до потреб культур за виконання механізованих технологічних процесів на основних етапах їхнього росту й розвитку.

Описано систему функціонування технологічних процесів вирощування культур з урахуванням накопичення енергії залежно від ступеня забезпечення технологічних процесів.

Розроблено зв'язок між потребами рослин і можливостями машин для їхнього забезпечення засобами механізації в керованій системі оцінювання якості механізованих процесів.

Розроблено систему керованого технологічного процесу, яка включає структуровану інформацію про сучасні сорти та гібриди агрокультур, агрокліматичні умови їхнього вирощування й засоби механізації, які використовуються для забезпечення виконання механізованого технологічного процесу і які входять у дану систему (матриця агрокультур, матриця полів відповідного господарства та стан довкілля, матриця технологічних операцій; матриця Агромашина; матриці енергетичних засобів; матриця систем контролю й розрахунку оцінки якості роботи машинних агрегатів), застосовані методи математичної логіки.

Розроблено систему оцінювання якості роботи машинних агрегатів на кожній механізованій операції відповідно до агротехнічних вимог.

Розроблено співвідношення для погодження розмірності оцінювання ґрунту щодо питомого опору та його твердості.

Уточнено коефіцієнти опору перекочування, зчеплення й буксування залежно від твердості ґрунту, у шарі 0–10 см для сучасних машин з урахуванням зміни ґрунтово-кліматичних умов.

Розроблено сучасну структуру балансу часу доби роботи машинних агрегатів. Запропоновано структурно-логічні схеми комплектування сучасних машинних агрегатів для обґрунтування їхніх техніко-експлуатаційних параметрів.

Розроблено методологію та математичну модель економічної оцінки механізованих агротехнологій з урахуванням коефіцієнта якості забезпечення агротехнологій комплексами машин.

**Ключові слова:** якість виконання технологічного процесу, критерії оптимізації, ресурси, біопотенціал, імітаційне моделювання.

## АННОТАЦИЯ

**Зубко В. Н. Концепция обеспечения качества механизированных агротехнологий.** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2021.

В диссертации решена научно-техническая проблема, которая имеет важное значение для повышения эффективности реализации биологического потенциала агрокультур вследствие наибольшего приближения агротехнических возможностей машинных агрегатов к агротребованиям культур при выполнении механизированных технологических процессов на основных этапах их производства.

Изучены и обобщены этапы развития агрокультур с целью определения их потребностей в разные периоды развития и на их основе разработаны

агротребования относительно различных стадий роста и развития растений для каждого из этапов. Описана математическая модель анализа обеспечения оптимальных условий роста и развития агрокультур.

Разработана методология системы механизированных агротехнологий, включающая структурированную информацию о современных сортах и гибридах агрокультур, агроклиматических условиях их выращивания и средств механизации, которые используются для обеспечения выполнения механизированного технологического процесса и входящих в данную систему (матрица агрокультур, матрица полей соответствующего хозяйства и состояние окружающей среды, матрица технологических операций; матрица агромашин; матрицы энергетических средств; матрица систем контроля и расчета оценки качества работы машинных агрегатов), применены методы математической логики, основанные на принципах преобразований.

Разработана методика определения показателей качества выполнения технологических операций машинными агрегатами в зависимости от культуры и технологии ее выращивания.

Методика позволяет анализировать влияние каждой технологической операции, в зависимости от выбранных машинных агрегатов, условий работы и рабочих режимов через показатель, учитывающий полное или частичное выполнение агротехнических требований машинным агрегатом – показатель качества их работы на запланированную урожайность агрокультуры. Методика позволяет рассчитать реальный показатель урожайности культуры с учетом ее изменения в течение выполнения технологического процесса в зависимости от технологии выращивания культуры и комплекса машин; получить и проанализировать приведенную к урожайности стоимость работы машинных агрегатов.

Разработана методология проектирования агротехнических требований к рабочим органам агромашин. Приведены конкретные примеры агротехнических требований к рабочим органам агромашин и машинных агрегатов для основных механизированных технологических операций, с учетом допусков, в зависимости от условий использования.

Изучены и проанализированы технологические параметры современных ходовых систем машинных агрегатов и среды их использования в соответствии с современными условиями. Определены коэффициенты сопротивления перекатывания, сцепление и коэффициент смятия шин, в зависимости от твердости почвы, в слое 0–10 см. Разработана современная структура баланса времени суток работы машинных агрегатов. Предложена структурно-логическая схема машинных агрегатов и проведены исследования его кинематики в полевых условиях.

Разработана методология и математическая модель экономической оценки механизированных агротехнологий с учетом коэффициента качества выполнения механизированных технологических операций.

Подготовлены предложения по оценке качества работы машинных агрегатов во время выполнения технологических операций.

Усовершенствованы математическая модель, алгоритм и компьютерная программа «Механизированные агротехнологии. Качество и эффективность», которая при оптимизации учитывает агротребования растений и возможности машинных агрегатов с определением коэффициента качества.

Применен новый подход для обоснования оптимального комплекса машин для выращивания агрокультур, который учитывает потребности растений на каждой фазе органогенеза.

**Ключевые слова:** качество выполнения технологического процесса, критерии оптимизации, ресурсы, биопотенциал, имитационное моделирование.

## ANNOTATION

**Zubko V. M. Concept of Quality Assurance of Mechanized Agricultural Technologies.** – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.05.11 «Machines and Means of Agricultural Production Mechanization». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021.

The dissertation thesis is devoted to quality assurance of mechanized agrotechnical technologies through meeting the crops need via maximum performance of the machine units at all the main stages of the crop's growth and development.

The functioning system of technological processes of crops cultivation has been described, while considering energy accumulation depending on a degree of maintenance of technological processes.

The connection between the needs of plants and the machines capabilities to provide them with the relevant mechanization means within a controlled system of mechanized processes quality assessment has been designed.

The system of a controlled technological process has been developed, including structured information about modern varieties and hybrids of agriculture, agroclimatic conditions of their cultivation and mechanical means that are used to ensure the implementation of a mechanized technological process and that are included into this system (an agricultural matrix, a field matrix of a relevant farm and the state of the environment, a matrix of technological operations, an Agro Machine matrix, a matrix of energy resources, a systems matrix of control and calculation of quality assessments of machine units functioning), the methods of mathematical logic have been applied.

The estimation system of a work quality of machine units on each mechanized operation according to agrotechnical requirements has been presented.

There has also been developed a ratio for the scale harmonization of the soil assessment in terms of the resistivity and its hardness.

Eventually, there have been clarified the roll-over resistance coefficients, and the coefficients of adhesion and skidding, depending on the hardness of the soil, in a layer of 0–10 cm for modern machines, taking into account changes in soil and climatic conditions.

The modern structure of daytime balance for work of machine units has been developed. Structural and logical schemes of assembling the modern machine units for their technical and operational parameters justification have been offered.

The methodology and the mathematical model have been designed for the sake of economic evaluation of mechanized agrotechnologies taking into account the quality coefficients of agrotechnological machines complexes.

**Key words:** quality of a technological process execution, optimization criteria, resources, biopotential, simulation modelling.



Підписано до друку 25.03.2021 року.      Формат 60x84\16  
Ум. друк. арк. 1,9                                      Обл.-вид.арк. 1,9  
Наклад 100 прим.                                      Зам. № 210157

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55, e-mail: nubip\_druk@ukr.net  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011





