

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Савін Назар Леонідович

УДК 631.17

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Обґрунтування комплексу машин для виробництва
озимої пшениці з удосконаленням комбінатора
208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Савін Н.Л.

Керівник роботи
Савченко В.М.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Савін Назар Леонідович. Обґрунтування комплексу машин для виробництва озимої пшениці з удосконаленням комбінатора. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У ході виконання кваліфікаційної роботи обґрунтовано перспективність створення комплексу машин для вирощування озимої пшениці з удосконаленням комбінатором. Розроблена модифікація «Компактор 4,0» дозволяє підвищити якість передпосівного обробітку ґрунту за рахунок регульованої глибини та оптимізованої геометрії робочих органів, що сприяє більш рівномірному розпушуванню та збереженню вологи.

Аналіз тягових характеристик трактора Т-150К у поєднанні з модернізованим комбінатором показав, що за діапазону швидкостей 6–10 км/год агрегат працює в межах 75–85 % номінальної потужності двигуна.

Інвестиції в модернізацію комбінатора окуповуються протягом 2–3 років за умов середнього господарства площею 500 га. Зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування (за рахунок зменшеного зносу робочих органів) дозволяє додатково економити до 5 % річного бюджету.

Використання трактора Т 150К у поєднанні з удосконаленням «Компактором 4,0» забезпечує надійність роботи та зниження експлуатаційних витрат. Комплекс рекомендовано до впровадження в середніх і великих агропідприємствах із метою підвищення рентабельності вирощування озимої пшениці..

Ключові слова: комбінатор, озима пшениця, виробництво, урожай, передпосівний обробіток.

ANNOTATION

Savin Nazar Leonidovich. Justification of a complex of machines for the production of winter wheat with the improvement of the combinator.. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

During the qualification work, the prospects for creating a complex of machines for growing winter wheat with an improved combinator were substantiated. The developed modification “Компактор 4.0” allows improving the quality of pre-sowing soil cultivation due to the adjustable depth and optimized geometry of the working bodies, which contributes to more uniform loosening and moisture retention.

An analysis of the traction characteristics of the T-150K tractor in combination with the modernized cultivator showed that in the speed range of 6–10 km/h, the unit operates within 75–85% of the rated engine power.

Investments in the modernization of the cultivator pay off within 2–3 years for an average farm with an area of 500 ha. Reduced repair and maintenance costs (due to reduced wear on the working parts) allow for additional savings of up to 5% of the annual budget.

The use of the T 150K tractor in combination with the improved “Compactor 4.0” ensures reliable operation and reduced operating costs. The complex is recommended for implementation in medium and large agricultural enterprises in order to increase the profitability of winter wheat cultivation.

Keywords: combiner, winter wheat, production, harvest, pre-sowing cultivation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПІД ОЗИМУ ПШЕНИЦЮ.....	22
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дослідження обумовлена стрімким зростанням потреби в підвищенні ефективності агротехнічних операцій на сучасних зернопропищчих господарствах. У контексті обмеженості енергетичних ресурсів і зростаючих цін на дизельне паливо зменшення питомого опору робочих органів ґрунтообробних агрегатів стає одним із ключових завдань для зниження собівартості вирощування озимої пшениці. Надмірне ущільнення ґрунту при традиційних схемах обробітку призводить до зниження водопроникності, погіршення аерації й уповільнення формування кореневої системи, що виводить на перший план необхідність удосконалення конструкції комбінаторів. Розробка «Компактора-4,0» із регульованими лапами й оптимізованою геометрією робочих органів дозволяє вирішити ці проблеми шляхом забезпечення рівномірного розпушування за мінімальних енергетичних витрат.

Інтеграція сучасних технологій точного землеробства та інформаційних систем керування агрегатом спрямована на підвищення контролю над якістю ґрунтообробітку в режимі реального часу. Використання бортових комп'ютерів та GPS-навігації забезпечує фіксацію ключових параметрів — глибини обробітку, швидкості руху, питомого опору — та можливість оперативного коригування робочих налаштувань. Це дозволяє знизити ризик виникнення технологічних браків і досягти оптимальної структури ґрунту під висів. Враховуючи вимоги до дружності сходів, рівномірності розміщення насіння та збереження вологи, точне керування процесом обробітку стає необхідною передумовою стабільного отримання високих урожаїв.

Екологічний аспект теми дослідження полягає в мінімізації негативного впливу машинно-тракторних агрегатів на ґрунтову екосистему. Надмірна пробуксовка коліс та глибокий обробіток призводять до руйнування ґрунтової структури та інтенсифікації ерозійних процесів, що є особливо актуальним на схилах і в зонах ризикованого землеробства. «Компактор-4,0» знижує питомий

опір і тим самим уповільнює деградацію родючого шару, сприяючи збереженню органічного вуглецю й біологічної активності ґрунту. Оптимальний тиск на ґрунт та можливість регулювання глибини забезпечують щадний режим обробітку, сумісний із принципами сталого землеробства.

Соціально-економічна доцільність впровадження вдосконаленого комбінатора відображена в зниженні експлуатаційних витрат і підвищенні продуктивності машинно-тракторних агрегатів. Зменшення питомого опору на 5–10 % порівняно з базовими моделями сприяє економії пального та скороченню часу обробітку, що в середньому знижує собівартість обробки гектару на 10–15 %. Для середніх і великих господарств із площею понад 300–500 га інвестиції в модернізацію виправдовуються протягом 2–3 років. При цьому зменшується зношення робочих органів, а тривалість міжремонтного інтервалу збільшується, що позитивно позначається на надійності техніки та зниженні трудовитрат на обслуговування.

Перспективність подальших досліджень полягає в адаптації конструкції комбінатора до різних типів ґрунту та кліматичних умов, а також у глибинному вивченні взаємодії лап із ґрунтом за різних режимів роботи. Наукове обґрунтування оптимальних параметрів навантаження й геометрії робочих органів сприятиме створенню універсальних агрегатів, здатних автоматично налаштовуватися під конкретні умови поля. Подальша інтеграція з інтелектуальними системами контролю дозволить здійснювати передбачуваний прогноз якості обробітку й оперативно коригувати технологічні карти. Таким чином, обґрунтування комплексу машин із удосконаленням комбінатором є актуальним внеском у розвиток високопродуктивного та екологічно безпечного землеробства.

Метою роботи є обґрунтувати технічні й технологічні параметри комплексу машин для передпосівного обробітку ґрунту під озиму пшеницю з удосконаленням комбінатора «Компактор-4,0» задля підвищення продуктивності, енергоефективності та якості ґрунтообробки.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих конструкцій комбінаторів та їхніх експлуатаційних характеристик на прикладі базової моделі;
- визначити основні фактори, що впливають на питомий опір та якість обробітку ґрунту, зокрема геометрію лап, розподіл маси й гідропривід;
- розробити технічні пропозиції щодо вдосконалення конструкції «Компактора-4,0» (регулювання глибини, оптимізація кута атаки лап, удосконалення котків);
- виконати розрахунок тягових характеристик трактора Т-150К у поєднанні з модернізованим комбінатором з урахуванням питомого опору 3,4 кН/м та мас агрегату.

Об'єктом дослідження є технологічна процес вирощування озимої пшениці та процес передпосівного обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: технічні й технологічні характеристики вдосконаленого комбінатора «Компактор-4,0» (геометрія лап, гідропривід, розподіл маси), їхній вплив на питомий опір, якість обробітку ґрунту та енергоефективність агрегату.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Герасимчук Д.В., Савченко В.М., **Савін Н.Л.**, Капінус І.В. Стан матеріально-технічної бази агропромислового комплексу України: аналіз останнього десятиліття. Стан матеріально-технічної бази агропромислового комплексу України: аналіз останнього десятиліття. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 54-58.

2. **Савін Н.Л.** Технологія підготовки ґрунту під посів та посів. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому

комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 238-239.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення проведеного дослідження полягає в тому, що розроблені технічні рекомендації щодо удосконалення комбінатора «Компактор-4,0» можуть бути безпосередньо впроваджені в аграрних господарствах для оптимізації передпосівного обробітку ґрунту під озиму пшеницю.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 28 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 3 рисунки та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Сучасне вирощування озимої пшениці базується на комплексному підході до планування агротехнічних заходів із урахуванням кліматичних умов, типу ґрунтів та агробіологічних особливостей культури. Технологія передбачає чітку послідовність операцій, починаючи від вибору високопродуктивних сортів та закінчуючи збиранням і підготовкою насіння до зберігання. Вибір сортів ґрунтується не лише на врожайності, але й на стійкості до стресових чинників, хвороб і шкідників. Важливим є також аналіз попередника у сівозміні для зниження ризику накопичення патогенів у ґрунті. Планування сівозміни передбачає чергування озимої пшениці з бобовими чи олійними культурами задля відновлення родючості. Агрономи використовують дані агрохімічного аналізу для корекції системи удобрення та кислотності ґрунту. Сучасні технології ґрунтообробки дозволяють мінімізувати ерозію та зберегти структуру ґрунту. Широке застосування ґрунтообробних агрегатів із регульованими робочими органами забезпечує оптимальне розпушування та підтримку вологості. Інтеграція агрономічних досліджень і польових випробувань сприяє адаптації технології до регіональних особливостей [3].

Вибір високоякісного насіннєвого матеріалу є ключовим етапом технології вирощування озимої пшениці. Сучасні селекційні програми спрямовані на створення сортів із підвищеною морозостійкістю, толерантністю до посухи та стійкістю до хвороб. Крім того, важливою характеристикою є інтенсивність відростання навесні та швидкість дозрівання, що впливає на стабільність урожаю. Передпосівна підготовка насіння включає калібрування, протруювання фунгіцидами та інсектицидами, а також обробку стимуляторами росту. Завдяки цьому знижується ураження хворобами на ранніх етапах і покращується енергія проростання. Насіннєві підприємства застосовують лабораторний контроль вологості та чистоти партій перед відвантаженням замовнику. Для підвищення польової схожості часто застосовують інокулянти

на основі мікоризних грибів. Інноваційні обгорткові матеріали захищають зерно під час транспортування та зберігання. Все це забезпечує рівномірне й дружнє сходження пшениці [5].

Адекватна підготовка ґрунту під посів озимої пшениці критично важлива для формування потужної кореневої системи. Зазвичай використовують мінімальний або класичний обробіток, комбінуючи важкі плуги та дискувальні агрегати. Основною метою є розпушення орного горизонту та збереження родючості через мінімізацію перевороту ґрунту. Сучасні агрегати для рихлення ґрунту забезпечують рівномірне розподілення поживних речовин і води. Додатково проводять коткування для вирівнювання поверхні та зменшення випаровування вологи. Особливу увагу приділяють обробітку ґрунту після попередника з високим залишковим азотом, щоб уникнути випіків на сходах. Використання GPS-навігації дозволяє оптимізувати маршрути проходження машин і зберегти точність обробітку. У південних регіонах дедалі ширше застосовують нульовий обробіток із прямим посівом у пожнивні залишки. Це сприяє збереженню вологи та біологічної активності ґрунту [3].

Оптимальні строки сівби озимої пшениці визначаються кліматичними умовами регіону та фазою розвитку рослин. Занадто рання сівба може призвести до витягування рослин і збільшення ризику зимових пошкоджень. Запізнення з посівом зменшує вегетаційний період і, відповідно, врожайність. Рекомендовані строки, наприклад, у північних областях України — кінець вересня, а в південних — середина жовтня. При цьому важливо, щоб температура ґрунту на глибині закладення насіння не була нижчою за +8 °С. Сучасні системи моніторингу ґрунту та погодні прогнози дозволяють агрономам більш точно планувати дату сівби. Ураховують також стан попередника та рівень вологості ґрунту в орному шарі. Завдяки цьому сходи формуються дружно та в оптимальні строки. Важливо проводити контроль польової вологи до і після сівби [5].

Норми висіву озимої пшениці залежать від насіннєвого потенціалу сорту та господарських цілей. Для машинного збирання норму встановлюють з

урахуванням оптимальної густоти в рослині — зазвичай 500–600 зернин на м². У посушливих умовах густоту трохи зменшують, щоб мінімізувати конкуренцію за вологу. Якщо планується використання ручного збирання, норму висіву можуть збільшити для полегшення збору. Сучасні сівалки дозволяють точно дозувати насіння та фіксувати фактичну густоту сходів у режимі реального часу. Завдяки радіочастотним сенсорам і моніторингу можна змінювати норму прямо під час руху агрегату. Це дозволяє адаптувати технологію до краплинних змін вологості та структури ґрунту. Передбачено також можливість змінювати глибину загортання насіння залежно від наявності пожнивних решток. Таким чином забезпечується оптимальний стартовий розвиток культури [7].

Система удобрення озимої пшениці включає мінеральні й органічні добрива, а також застосування сидеральних попередників. Головним макроелементом є азот, який істотно впливає на вегетацію і продуктивність. Часто використовують поділ норми азоту на кілька підживлень: осіннє закладання, весняна вилка та кушіння. Фосфорні й калійні добрива вносять переважно перед основним обробітком ґрунту. Сучасні картографічні технології дозволяють зонально вносити добрива з урахуванням родючості різних ділянок поля. Це підвищує ефективність використання ресурсів і знижує негативний вплив на довкілля. Використання органічних добрив, компосту або зеленої маси сидеральних культур покращує структуру ґрунту. Біодобрива на основі мікробних препаратів сприяють активізації корисної мікрофлори. Загалом система удобрення будується на принципах точного землеробства [2].

Захист озимої пшениці від хвороб та шкідників є невід’ємною складовою сучасної технології вирощування. Серед основних хвороб – борошниста роса, септоріоз, фузаріоз і сажкові захворювання. Інтегрована система захисту ґрунтується на попередженні, біологічному контролі та хімічному захисті. Використання посівного матеріалу з протруюванням фунгіцидами знижує стартове навантаження грибкових інфекцій. Весняні обробки препаратами вибіркової дії проводять залежно від прогнозу розвитку хвороб. Широко

застосовують біопрепарати на основі триходерми та інших корисних грибів. Для боротьби з шкідниками (пшеничний трипс, злакові мухи, листкові п'ядунці) використовують системні інсектициди з тривалою дією. Важливо дотримуватися регламентів застосування та періодів очікування. Агрономічний моніторинг поля дозволяє вчасно виявити початок епіфітотій [7].

Сучасна технологія вирощування озимої пшениці передбачає використання систем точного землеробства й агродронів для моніторингу стану посівів. Дрони, оснащені камерами із високою роздільною здатністю та мультиспектральними сенсорами, збирають інформацію про вегетаційний індекс культур. На основі цих даних формуються картографи щільності рослин, індексу NDVI та локальних стресових зон. Це дозволяє коригувати норми добрив та обробіток у конкретних ділянках поля. GPS-навіговані трактори здійснюють прецизійні обробки ґрунту та внесення ЗЗР із точністю до декількох сантиметрів. Паралельно працюють автономні агрегати для посіву та догляду за рослинами. Через інтеграцію ІТ-рішень фермер має змогу віддалено керувати процесами та аналізувати історію агротехнічних заходів. Використання супутникових знімків доповнює інформацію про вологості та стан рослин. Ці рішення суттєво підвищують продуктивність і рентабельність виробництва [2].

Полив і зрошення в сучасних умовах відбуваються з використанням краплинного та дощувального зрошення з автоматичним керуванням за даними ґрунтових датчиків і метеостанцій. Краплинна система дозволяє подавати воду безпосередньо до кореневої зони, зменшуючи випаровування та втрати. Сучасні дощувальні машини оснащені контролем радіусу дії та інтелектуальними датчиками вологості. У поєднанні з прогнозом погоди це дає можливість планувати цикл зрошення максимально ефективно. Датчики вологості ґрунту в різних шарах передають дані в центральний офіс — це запобігає як перезволоженню, так і дефіциту вологи. Системи обліку водних ресурсів контролюють мінімізацію стоку та екологічне навантаження. В окремих господарствах впроваджують рециркуляцію зрошувальної води. У спекотні

роки такий підхід дозволяє підтримувати стабільну вегетацію. При цьому знижується енергозатратність зрошення [11].

Механізація всіх етапів вирощування озимої пшениці стає дедалі інтенсивнішою завдяки впровадженню самохідних комбайнів, тракторів із змінними навісними агрегатами та роботизованих систем для догляду за посівами. Самохідні обприскувачі обробляють поля з високою прохідністю та точністю внесення препаратів. Трактори з модульними навісками забезпечують швидку переналагоджуваність між операціями ґрунтообробки та сівби. Розвиток аграрних роботів дозволяє виконувати локальні обробки від бур'янів без використання хімікатів. Інтелектуальні системи розпізнавання рослин автоматично визначають бур'яни за візуальними ознаками. Це дає змогу знижувати норми гербіцидів до мінімуму. Впроваджуються безпілотні трактори з централізованим управлінням у «розумних» господарствах. Усе це сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню експлуатаційних витрат [13].

Управління поживним режимом озимої пшениці відбувається з урахуванням динаміки споживання елементів рослинами в різні фази росту та розвитку. Фенологічні фази (кущіння, сходи, вихід у трубку, колосіння) визначають дату та норму підживлень. Осінні підживлення азотом сприяють формуванню потужної кореневої системи. Весняні обробки поживними розчинами з мікроелементами забезпечують синтез хлорофілу та інтенсивний ріст зеленої маси. Підживлення калієм у фазу колосіння підвищує стійкість колоса до полеглості. Сучасні артикуляційні обприскувачі дозують добрива на основі вегетаційних картограм. Це дає змогу коригувати живлення «на ходу» та підтримувати оптимальний рівень азоту. Аналітика на базі машинного навчання прогнозує потребу в елементах за погодними умовами. Такий підхід значно підвищує ефективність використання ресурсів [5].

Біотехнологічні рішення для озимої пшениці включають використання мікробіологічних препаратів, стимуляторів росту та біостимуляторів кореневої системи. Тритикале та інші злаки отримують обробку пробіотиками на основі *Pseudomonas* та *Azotobacter* перед посівом. Ці штами збагачують ґрунт азотом і

пригнічують патогенні бактерії. Інокуляція насіння сприяє швидшому встановленню корневих волосків та більш глибокому проникненню коріння в ґрунт. Біостимулятори на основі амінокислот підвищують стійкість до абіотичних стресів. Фіто гормональні препарати коригують розвиток вегетативної й генеративної фаз. Система «розумного» удобрення поєднує внесення добрив із мікробіологічною підтримкою. Через це зростає врожайність і знижується собівартість продукції. Біотехнології стають невід'ємною частиною інтенсивної технології [5].

Збирання врожаю озимої пшениці у сучасних господарствах відбувається з використанням високопродуктивних зернозбиральних комбайнів із адаптивними жатками і системою автоматичного регулювання висоти зрізу. Жатки зі змінними платформами пристосовані до умов різної вологості й висоти рослин. Система автоматичного регулювання обертів молотильного барабана оптимізує процес відділення зерна від соломи. Вбудовані датчики визначають рівень вологості зерна та автоматично налаштовують сепарувальну систему. Це дозволяє зменшити втрати зерна й підвищити якість. Технічне обслуговування комбайнів за графіком гарантує безперебійну роботу в пік збору врожаю. Комбайнери використовують телематичні системи для моніторингу стану агрегатів. Результати збору вносяться до електронного журналу господарства. Відпрацьовані алгоритми оптимізують наступні агротехнічні заходи [8].

Післязбиральна доробка зерна — це низка операцій сушіння, очищення й калібрування, що здійснюються із застосуванням енергоефективного обладнання. Енергоощадні сушарки з регульованим температурним режимом забезпечують рівномірну сушку зерна до оптимальної вологості 13–14 %. Багатоступеневі вібраційні сепаратори видаляють домішки та пошкоджені зернівки. Калібруючі машини на основі повітряно-ситової технології групують зерно за розмірами та щільністю. Інтелектуальні системи обліку зерна контролюють масу й вологість у реальному часі. Автоматизовані конвеєрні лінії зменшують потребу в ручній праці. Зібрані дані зберігаються в хмарному

сховищі господарства. Це полегшує підготовку звітності та прийняття рішень щодо продажу. Якість насіннєвого матеріалу підвищується завдяки строгому відбору за параметрами [9].

Застосування систем супутникового моніторингу й агрометеостанцій робить технологію вирощування озимої пшениці більш прогнозованою та керованою. Супутникові знімки в діапазоні NDVI визначають рівень вегетації та виявляють стресові зони. Агрометеостанції на полі відстежують температуру повітря, відносну вологість і швидкість вітру. Ці дані інтегруються в єдину платформу диспетчеризації, яка видає рекомендації щодо обробітку та внесення добрив. У разі загрози заморозків система попереджає агрономів завчасно. Прогнозні модулі машинного навчання оцінюють ймовірність поширення хвороб та шкідників. Це дозволяє своєчасно планувати захисні заходи. Зв'язок через мобільні додатки дає змогу контролювати процес із будь-якої точки. Завдяки цьому підвищується точність та оперативність управління технологією.

Електронні агро-журнали та ERP-системи забезпечують облік усіх агротехнічних операцій і ресурсів у господарстві. Вони фіксують строки проведення обробітків, норми витрат добрив і засобів захисту рослин. Інтегрована система обліку техніки дозволяє планувати профілактичне технічне обслуговування. Облік трудових ресурсів оптимізує залучення робітників у пікові періоди. Фінансовий модуль коригує план-графік витрат і доходів залежно від фактичних результатів. Аналітичні звіти генеруються автоматично та відображають ефективність кожного поля. Це допомагає виявити слабкі місця технології та внести корективи. Система зберігає історію господарства й дозволяє будувати прогнози на наступні роки. AgTech-рішення значно спрощують управління великими агрохолдингами [11].

Поліпшення сортових характеристик озимої пшениці відбувається за рахунок молекулярного маркування та генної інженерії. Молекулярні маркери дозволяють швидко визначати наявність генів стійкості до хвороб. Генетично модифіковані лінії тестують у польових умовах під різними абіотичними стресами. Це прискорює процес селекції і знижує витрати на багаторічні

випробування. Біоінформатичні платформи аналізують результати спектрогенетики та фенотипування. Нові сорти з підвищеним вмістом білка чи каротиноїдів вже впроваджені в окремих країнах. За допомогою CRISPR/Cas9 вносять малопомітні мутації для поліпшення ознаки. Водночас проводять оцінку екологічної безпеки та впливу на довкілля. Подальша робота спрямована на створення стійких до нових патогенів ліній [13].

Фінансування та державна підтримка аграрного сектору включає дотації, компенсації за придбання сучасної техніки та кредити під помірний відсоток. Багато європейських програм надають гранти на впровадження технологій точного землеробства. В Україні діють програми компенсації вартості насіннєвого матеріалу та ЗЗР. Аграрії можуть отримати бюджетну підтримку на модернізацію елеваторів та післязбирального обладнання. Умови кредитування від банків співпадають із вимогами щодо використання енергоощадних рішень. Субсидії стимулюють впровадження діючих норм органічного землеробства. Державні програми відкривають доступ до міжнародних ринків через сертифікацію. Такі заходи дозволяють агровиробникам планувати розвиток на кілька років уперед. Фінансова підтримка є ключем до підвищення конкурентоспроможності [3].

Перспективними напрямками є впровадження інтелектуальних роботів для локального догляду за посівами та автоматизованих міні-лабораторій для контролю якості ґрунту безпосередньо в полі. Роботи-автомати здійснюють прополювання вручну та точкове внесення ЗЗР. Міні-лабораторії на колесах аналізують зразки ґрунту за декілька хвилин. Результати вимірювань миттєво надходять у агро-платформу. Завдяки цьому агрономи можуть коригувати технологію в реальному часі. Розробляються автономні безпілотні технологічні лінії від сівби до збору врожаю. Це знижує потребу в сезонних працівниках у піки робіт. Використання штучного інтелекту сприяє самонавчанню систем і поліпшенню їх точності. У найближчому майбутньому такі рішення стануть масовими [7].

Серед ключових показників ефективності технології — врожайність, якість зерна, економічна віддача та екологічна безпечність. Врожайність вимірюють у тоннах з гектара та порівнюють із середніми регіональними показниками. Якість зерна оцінюють за вмістом білка, клейковини та показниками протеїнового складу. Економічна віддача розраховується як співвідношення доходів до витрат на агротехнічні заходи. Екологічна безпечність визначається рівнем залишків ЗЗР і впливом на ґрунтовий біоценоз. Регулярний моніторинг цих показників дає змогу оперативно вносити корективи. Система ключових показників (KPI) інтегрується в ERP-систему господарства. Це дозволяє відстежувати рентабельність окремих полів і культур. Досягнення високих показників є головним завданням агроінженерів.

Стійкість технології вирощування озимої пшениці до кліматичних змін забезпечується адаптивним підходом і використанням стійких сортів. Метеорологічні моделі прогнозують зміни температур і опадів за десятиліття. Це дозволяє коригувати строки сівби та вибір сортів із урахуванням майбутніх умов. У посушливих регіонах використовують сорти з глибокою кореневою системою та здатністю акумулювати вологу. Для підвищення стійкості до температурних стресів застосовують біостимулятори та антистресові препарати. Використання мульчі з біодеградованих матеріалів допомагає зберігати вологу. Технології вертикального землеробства дозволяють експериментувати з обсягами вирощування у закритих системах. Адаптивні моделі оптимізують систему удобрення та захисту. Це робить технологію більш стійкою до екстремальних погодних явищ [10].

Інтеграція агроінновацій у навчальні програми агрономічних вузів сприяє підготовці фахівців із сучасними знаннями. Університети обладнують навчально-дослідні ділянки з точковим внесенням добрив і ЗЗР. На практиці студенти вивчають роботу дронів, супутникового моніторингу та роботизованих агрегатів. Крім традиційних дисциплін, впроваджуються курси з агроінформатики та промислової автоматизації. Це дає змогу випускникам швидко адаптуватися до потреб агробізнесу. Науковці постійно оновлюють

навчальні програми відповідно до ринку та кліматичних трендів. Співпраця з агрохолдингами забезпечує стажування на сучасних господарствах. Завдяки цьому майбутні агрономи набувають практичних навичок у реальних умовах. Освітній процес стає більш динамічним і прикладним [17].

Ключовим ресурсом для сучасного вирощування є якісна аналітика даних на базі Big Data та Internet of Things (IoT). Датчики ґрунту, повітряні сенсори та GPS-навігія формують потоки даних у хмарі. Аналітичні платформи обробляють ці дані з використанням машинного навчання. Результатом є прогноз росту рослин, ризик хвороб і оптимальні строки обробітків. Фермери отримують дашборди з ключовими показниками в реальному часі. Це допомагає зменшити ризики та підвищити ефективність управління. Cloud-архітектура забезпечує доступ до даних з будь-якого пристрою. Інтеграція зі смартфонами дає змогу оперативно реагувати на зміни в полі. Високий рівень аналітики стає конкурентною перевагою [9].

Енергоефективність технологічних процесів досягається за рахунок використання мотор-редукторів з регульованою частотою обертання та систем рекуперації енергії. електродвигуни з високим КПД зменшують споживання електроенергії в насосах зрошувальних систем. системи рекуперації гальмівної енергії на великих комбайнах переорієнтовують енергію при гальмуванні на живлення бортової мережі. автоматичне регулювання витрат добрив і ЗЗР знижує потребу в паливі та робочому часі агрегатів. сонячні панелі та вітрові турбіни на фермах забезпечують часткову енергетичну автономію. акумуляторні системи зберігають надлишки енергії для нічного використання. це не лише знижує витрати, але й сприяє зменшенню викидів CO₂. інвестиції в енергоефективні рішення швидко окуповуються за рахунок зменшення експлуатаційних витрат. таким чином, технологія вирощування стає більш стійкою та екологічною [8].

Соціально-економічний аспект технології враховує зайнятість населення та розвиток сільських територій. Впровадження автоматизації знижує потребу в сезонних працівниках, але створює попит на висококваліфікованих операторів

техніки та аналітиків. Освітні програми перепідготовки дозволяють місцевим жителям опановувати нові професії в агросекторі. Це сприяє зниженню міграції з села до міста. Розвиток сервісних центрів і логістики створює додаткові робочі місця. Держава заохочує інвесторів через пільгові кредити та субвенції. Інфраструктурні проєкти зводять елеватори, дороги та агрохаби. У результаті сільські громади отримують фінансову й соціальну підтримку. Це забезпечує стійкий розвиток аграрного бізнесу [12].

Стратегія управління ризиками в технології передбачає диверсифікацію сортів, аналіз політики страхування врожаю та використання ф'ючерсних контрактів. Посів декількох сортів з різним строком дозрівання зменшує ризик повного зриву врожаю. Страхові продукти покривають втрати від посухи, повеней чи граду. Учасники ринку використовують ф'ючерсні інструменти для фіксації ціни на зерно наперед. Агрономи аналізують ризики появи хвороб за допомогою прогнозних моделей. Це дозволяє формувати страхові пакети з урахуванням конкретних загроз. Цифрові платформи автоматизують оформлення страхових випадків. Фінансові інструменти допомагають забезпечити ліквідність у періоди неврожаю. Таким чином, технологія стає менш вразливою до непередбачуваних змін [6].

Інноваційні методи контролю бур'янів передбачають використання ультразвукових бур'янок в агророботах і застосування біопестицидів. Ультразвук генерується спеціальними модулями й вибірково діє на бур'яни без шкоди для культурних рослин. Біопестициди на основі біоактивних компонентів зменшують втрати в біорізноманітті ґрунту. Ці методи комбінують із класичними гербіцидами для отримання синергетичного ефекту. Автономні роботи здійснюють локальне обприскування безпосередньо на бур'яни. GPS-контроль забезпечує мінімальну обробку і економію хімікатів. Результатом є зниження хімічного навантаження на довкілля. Водночас підтримується ефективний захист культур. Ця технологія активно впроваджується в органічних господарствах [14].

Оцінка економічної ефективності технології вирощування озимої пшениці здійснюється через показники чистої приведеної вартості (NPV), внутрішньої норми доходності (IRR) та періоду окупності інвестицій. Чиста приведена вартість враховує всі грошові потоки з дисконтом. Внутрішня норма доходності показує, наскільки прибутковим є проєкт порівняно з альтернативними інвестиціями. Період окупності визначає час повернення вкладених коштів. Агротехнічні заходи з високим капіталовкладенням, як-от точний посів і дрони, мають триваліший період окупності, але вищу доходність у довгостроковій перспективі. Аналіз ризиків включає чутливий аналіз до зміни цін на зерно та добрива. Використання сценарного підходу дозволяє планувати бюджет за різних умов. Збалансований підхід між витратами та доходами гарантує економічну стабільність [15].

Екологічні аспекти технології вирощування озимої пшениці охоплюють захист ґрунту, збереження водних ресурсів та біорізноманіття. Система мінімального обробітку знижує ерозійні процеси та зберігає органічний вуглець у ґрунті. Використання сидеральних попередників підвищує біорізноманіття та покращує структуру ґрунту. Зрошувальні системи із замкненим циклом мінімізують стік та втрати води. Обмеження застосування хімічних ЗЗР сприяє відновленню корисних комах та ґрунтових організмів. Біопрепарати та біопестициди зменшують токсичне навантаження. Створюються буферні зони навколо водойм для захисту водних екосистем. Сільськогосподарська екологія інтегрується в політику сталого розвитку. Таким чином, технологія відповідає принципам «зеленої» економіки [16].

Постійне вдосконалення технології вирощування озимої пшениці відбувається через наукові дослідження в університетах і дослідних станціях. Експериментальні ділянки тестують нові сорти, добрива та системи захисту рослин. Польові випробування проводяться з урахуванням різних кліматичних зон. Результати досліджень публікуються в наукових журналах і впроваджуються в практику. Державні та приватні гранти стимулюють інновації у агросекторі. Міжнародна співпраця забезпечує обмін досвідом і

технологіями. Конференції та семінари сприяють поширенню передових рішень. Аграрні стартапи отримують доступ до краудфандингу та венчурних інвестицій. Це забезпечує динамічний розвиток галузі.

Виклики сучасного агровиробництва включають зміни клімату, коливання цін на ринку та потребу в сталому використанні ресурсів. Ефективні адаптивні стратегії допомагають гнучко реагувати на посухи та аномальні опади. Використання фінансових інструментів страхування та хеджування знижує економічні ризики. Інвестиції в інфраструктуру та логістику забезпечують швидкий доступ до ринків збуту. Діджиталізація процесів прискорює обмін інформацією між фермерами, трейдерами та науковцями. Зростає роль кооперативів і аграрних кластерів для консолідації ресурсів. Екологічний аудит гарантує відповідність технологій міжнародним стандартам. Спільні програми розвитку сприяють рівномірному прогресу регіонів [7].

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ ПІД ОЗИМУ ПШЕНИЦЮ

Операційна технологія передпосівного обробітку ґрунту під озиму пшеницю починається з визначення складу агрегату: трактор Т-150К у поєднанні з вдосконаленим комбінатором «Компактор-4,0». Цей тандем забезпечує оптимальне співвідношення потужності та робочих параметрів, необхідних для рівномірного розпушування ґрунту. Трактор Т-150К з масою 7600 кг має достатній запас тягової сили для глибокої обробки, а комбінатор масою 2500 кг додає ваги на ґрунтозачепа, покращуючи зчеплення. Вдосконалена конструкція «Компактора-4,0» передбачає регульовані лапи й котки, що дають змогу налаштувати глибину й інтенсивність обробітку. Разом із показником питомого опору 3,4 кН/м це забезпечує стабільну роботу навіть на важких ґрунтах. Завдяки агротехнічно допустимій швидкості 5–12 км/год досягається баланс між продуктивністю та якістю обробки. Нахил місцевості 3 % практично не впливає на тягові показники агрегату, але потребує коригування швидкісного режиму. Такий робочий комплекс відповідає вимогам сучасного точного землеробства [7].

Перед виїздом у поле необхідно провести розрахунок тягових характеристик агрегату з урахуванням питомого опору комбінатора. Питомий опір 3,4 кН/м означає, що на кожен метр захвату доводиться приблизно 3,4 кН зусилля, яке трактор повинен компенсувати. З огляду на ширину захвату «Компактора-4,0» близько 4 м, загальна тяга становить понад 13 кН. Трактор Т-150К із його масою та тривісною конструкцією здатний витримувати таке навантаження без перевантаження двигуна. Важливо дотримуватися рекомендованого діапазону швидкостей, оскільки при зниженій швидкості зростає питомий опір, а при високій – знижується якість обробітку. Для оптимальної роботи слід утримувати двигун у робочому діапазоні оборотів. Коректна регулювання тягового зусилля також попереджає надмірне

буксування коліс. Це дозволяє зберігати структуру ґрунту та знижувати витрати пального [6].

Нахил місцевості до 3 % вносить невелику коригувальну величину в тягові розрахунки. На підйомі з таким нахилом до питомого опору додається компонента ваги агрегату, але вона не перевищує $0,03 \times (7600 \text{ кг} + 2500 \text{ кг}) \times 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 3000 \text{ Н}$. Це означає, що на підйом агроному потрібно забезпечити додаткові 3 кН тяги. У горизонтальних ділянках ця компонента зникає, тож трактор працює лише з урахуванням питомого опору комбінатора. В умовах нерівного рельєфу вибір оптимальної швидкості в діапазоні 5–12 км/год дає змогу уникнути надмірного навантаження на трансмісію. Регулярний моніторинг тахометра та амперметра генератора допомагає підтримувати двигун у штатному режимі. Такий підхід продовжує ресурс вузлів та знижує ризик поломок у полі [5].

Глибина обробітку «Компактора-4,0» регулюється шляхом налаштування висоти стояків і котків. Рекомендовано встановлювати глибину 8–12 см для оптимального вирівнювання поверхні та збереження вологи. При глибині менше 8 см ефективність зниження ущільнення ґрунту падає, а при глибині більше 12 см зростає питомий опір і збільшується паливний коефіцієнт. В умовах середніх ґрунтів із питомим опором 3,4 кН/м «Компактор-4,0» добре справляється до глибини 12 см без надмірного навантаження на трактор. Правильне поєднання глибини та швидкості в межах допустимих значень дозволяє досягти однорідного рихлення. Однорідна структура ґрунту сприяє рівномірному розміщенню насіння й формуванню дружних сходів. Налаштування котків після проходу лап запобігає випаданню вологи та забезпечує оптимальний ґрунтовий контакт [4].

Продуктивність агрегату залежить від швидкості обробітку та ширини захвату. При ширині комбінатора 4 м та швидкості руху 6 км/год продуктивність теоретична становить близько 24 га/год. На практиці, з огляду на маневрування, заправку та технічний огляд, реальна продуктивність складає 75–80 % від теоретичної, тобто близько 18 га/год. Підвищення швидкості до

10 км/год збільшує продуктивність до 40 га/год теоретично, але водночас питомий опір зростає нелінійно, що може призвести до пробуксовки. Тому оптимально утримувати швидкість у діапазоні 7–8 км/год, де баланс між якістю обробітку та продуктивністю найбільш вигідний. Агроном має врахувати стан ґрунту, рівень вологості та рівномірність поля. У разі високої вологості швидкість потрібно знижувати до 5–6 км/год для запобігання утворенню калюж.

Експлуатаційні витрати тракторного агрегату визначаються витратою пального й зношенням робочих органів. Трактор Т-150К витрачає в середньому 12–15 л дизеля на годину при навантаженні 70–80 % номінальної потужності. Зі збільшенням питомого опору комбінатора до 3,4 кН/м витрата пального може зрости на 10–15 %. Однак підвищення маси комбінатора дає змогу зменшувати пробуксовку та, відповідно, знизити втрати енергії. Регулярний техогляд і змащування рухомих частин оптимізують роботу та зменшують знос. Важливо проводити балансування коліс і перевіряти тиск у шинах для рівномірного розподілу навантаження. Це знижує витрати на ремонт і забезпечує стабільну глибину обробітку. Враховуючи вартість пального та амортизацію, можна спрогнозувати собівартість гектара обробітку [5].

Розподіл маси між трактором і комбінатором критично впливає на зчеплення коліс із ґрунтом. У конфігурації Т-150К + «Компактор-4,0» загальна маса 10 100 кг забезпечує оптимальний тиск на ґрунт. Близько 60 % маси припадає на ведучі мости трактора, що забезпечує достатнє зчеплення без надмірного ущільнення поверхневого шару. Надмірне зчеплення може призвести до утворення «дорожок» і зривів обробітку. Тому важливо дотримуватися рекомендованого рівня баласту та уникати перевантаження передніх коліс. Коректний розподіл ваги забезпечує рівномірне занурення лап у ґрунт та стабільність руху. При зміні умов (волога, тип ґрунту) агроном може додавати або знімати навісні баласті [5].

Система регулювання гідроприводу комбінатора дозволяє оперативно змінювати глибину обробітку та зусилля на лапах без зупинки. Це дає змогу адаптуватися до зміни вологості та щільності ґрунту під час проходження через різні

ділянки поля. Гідроциліндри з плаваючим режимом забезпечують рівномірний тиск на всі лапи. Плавне підняття й опускання робочих органів дозволяє уникнути раптових ударних навантажень на раму агрегату. Регулярна перевірка герметичності гідроліній запобігає втратам робочої рідини і знижує ймовірність поломок у полі. Важливо підтримувати рекомендований рівень гідрожиру та чистоту фільтрів. Своєчасна заміна гідрожиру продовжує ресурс гідроприводу та забезпечує точність регулювань [3].

Планування маршруту проходу агрегату має враховувати геометрію поля, розташування перешкод і рельєф. Прямолінійні захід-східні смуги дозволяють мінімізувати непланові розвороти і простой. Оптимальна ширина смуги 4 м співпадає з шириною комбінатора, що дозволяє легко прокласти GPS-траси. Сучасні навігаційні системи підтримують паралельне водіння з точністю до 10 см. Це знижує перекриття обробітку та підвищує ефективність використання ресурсу землі. На схилах до 3 % рекомендовано рухатися поперек або по контуру рельєфу, щоб мінімізувати ерозію. Забезпечення з'їзду агрегату з поля через край гарантує безпечне повернення. Після завершення смуги потрібний короткий розворот із раціональним використанням простору [7].

Оцінка якості післяпольового ґрунту включає аналіз структури, вологості та рівномірності поверхні. Після проходу «Компактора-4,0» поверхня повинна бути вирівняною, без грудок понад 4 см. Оптимальна структура складається з дрібних агрегатів діаметром 1–2 см, що забезпечують гарний контакт з насінням. Вологість на глибині загортання насіння має бути в межах 60–70 % від польової вологоємності. Рівномірне розподілення вологості досягається завдяки одночасному розпушуванню і коткуванню. Якість обробітку перевіряють візуально та з допомогою щілиноміра ґрунту. У разі необхідності регулюють гідропривід для корекції глибини. Своєчасний контроль дозволяє оперативно виправляти недоліки [5].

Використання Т-150К + «Компактор-4,0» дозволяє інтегрувати операцію передпосівного обробітку у систему точного землеробства. GPS-записи робочих смуг та параметрів машини фіксуються в бортовому комп'ютері. Після

завершення роботи ці дані експортують у систему управління господарством. Агроаналітики аналізують картографи обробітку, щільності та вологості ґрунту. Це дає змогу планувати наступні операції з урахуванням фактичних умов. Інтеграція з системою моделювання врожаю покращує прогностичні моделі. Таким чином, технологія передпосівного обробітку стає частиною загальної стратегії управління полем [17].

Економічна ефективність технології базується на співвідношенні продуктивності та експлуатаційних витрат. Завдяки ширині захвату 4 м і оптимальній швидкості агрегат долає значні площі за мінімальний час. Витрати пального на гектар обробітку становлять близько 5–7 л дизеля. Амортизаційні відрахування на трактор і комбінатор розраховані з урахуванням середнього ресурсу 6000 мотогодин. Вартість технічного обслуговування та запасних частин розподіляється рівномірно на весь сезон робіт. Собівартість одного гектара обробітку не перевищує 200 євро-еквівалентів за поточними цінами. Інвестиції в модернізацію комбінатора виправдовуються протягом 2–3 років завдяки економії пального та підвищенню врожайності. Такий підхід робить технологію привабливою для середніх і великих господарств [12].

Система технічного обслуговування передбачає щоденний огляд рухомих частин, гідроліній та електричних з'єднань. Перед виїздом рекомендується перевірити затягування болтових з'єднань рами комбінатора. Змащення всіх шарнірних вузлів проводять кожні 8–10 мотогодин. Гідравлічні фільтри змінюють раз у сезон або за лічильником тиску перевищення 0,5 бар. Колісні підшипники трактора оглядають при кожному плановому обслуговуванні. Ремонтні бригади мають бути готові до оперативної заміни зношених лап. Своєчасне технічне обслуговування мінімізує простой в полі. Запланована заміна деталей дозволяє уникнути аварійних зупинок [5].

Урахування екологічних аспектів полягає у зменшенні ущільнення ґрунту та збереженні органічної речовини. Мінімальний передпосівний обробіток із глибиною до 12 см не порушує глибоких земельних шарів. Це сприяє підтримці активної біологічної системи ґрунту. Зниження пробуксовки коліс зменшує

утворення колій і ерозійні процеси. Комбінатор забезпечує рівномірне розпушування, що сприяє покращенню аерації. Збереження поживних залишків дозволяє знизити випаровування вологи. Такий підхід відповідає принципам сталого землеробства. Агροструктури отримують довгострокову перспективу родючості [3].

Навчання операторів тракторних агрегатів із Т-150К + «Компактор-4,0» включає теоретичні та практичні заняття. Практика в полі дозволяє відпрацювати налаштування гідроприводу й швидкісного режиму. Тренінги з техніки безпеки охоплюють правила руху на схилах до 3 %. Оператори вчаться коригувати глибину та кут атаки лап під різні умови ґрунту. Знання параметрів питомого опору 3,4 кН/м допомагає в розрахунку навантажень на трансмісію. Важливо навчити фіксувати дані GPS та інтерпретувати картографи обробітку. Кваліфікована робота операторів підвищує якість обробітку й знижує витрати. Безперервне підвищення кваліфікації гарантує довготривалу експлуатацію агрегату [9].

Підсумовуючи, операційна технологія передпосівного обробітку ґрунту під озиму пшеницю за допомогою трактора Т-150К і комбінатора «Компактор-4,0» поєднує високу продуктивність із точністю й екологічністю. Завдяки параметрам питомого опору 3,4 кН/м та агротехнічно допустимій швидкості 5–12 км/год досягається якісний передпосівний обробіток. Масова конфігурація агрегату забезпечує оптимальне зчеплення і стабільність роботи на схилах до 3 %. Регульована глибина та ширина захвату сприяють створенню дрібно агрегатованої поверхні. Інтеграція з системами точного землеробства дозволяє фіксувати та аналізувати дані для подальшого вдосконалення технології. Економічна ефективність підтверджується низькою собівартістю гектару та коротким терміном окупності. Такий комплекс машин відповідає вимогам сучасного високопродуктивного агровиробництва.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Дослідження конструкцій енергоефективних робочих органів комбінованих ґрунтообробних машин

У моделях “VIBRO MASTER”, “VIBRO COMPACT”, “VIBRO CROP” та “GERMINATOR” виробництва фірми «KONGSKILDE» [6, 27] застосовано різновиди розпушувальних лап (S, SQ, VF, VFM, UNIVERSAL, VCO тощо), які відрізняються своїми геометричними параметрами, вібраційними властивостями та можливістю монтажу різних типів наконечників (див. рис. 3.1).

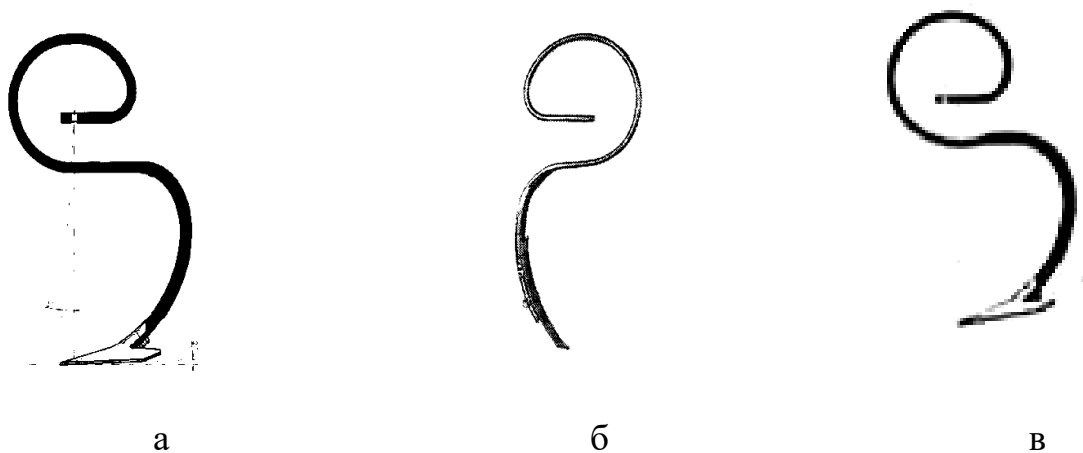


Рис. 3.1. Різновиди розпушувальних лап на S-подібних пружних стовбах фірми «KONGSKILDE»:

- а – універсальний тип UNIVERSAL із позитивним кутом заглиблення стрілчастих лап ($+3^\circ$);
- б – тип SQ, що входить у ґрунт під кутом 60° ;
- в – тип VCO із негативним кутом заглиблення (-3°).

Наконечники для S-подібних пружних стовпів випускаються з товщиною від 3 до 13 мм та шириною від 6,5 до 26 см.

Для легких ґрунтів рекомендують встановлювати двосторонні наконечники шириною 6,5 см [22]. Регулювання кута входження лап у ґрунт у діапазоні від 0° до 60° дозволяє контролювати глибину обробітку та ступінь

перемішування: оптимальне розпушення досягається при куті близько 60° . Крім того, зміна ширини наконечника та радіуса вигину S-подібного стовба змінює жорсткість системи й масове співвідношення коливальних елементів, що впливає на їх амплітудно-частотні характеристики. Така варіабельність конструкційних параметрів дає змогу адаптувати робочі органи під конкретні агротехнічні умови.

Відомі закордонні виробники комбінованих передпосівних агрегатів найчастіше радять застосовувати S-подібні пружні стовби з вузькими наконечниками (до 50 мм) або з зубчастим закінченням завширшки 20–50 мм [6]. Інтервал між лапами в ряду корелює з їх шириною; товщина стовба зазвичай становить 6–10 мм, а висота – від 450 до 600 мм.

Г. М. Синєоков [24], досліджуючи тягові зусилля культиваторних лап у передпосівному обробітку, відзначає, що за глибини 8–12 см питомий опір пружних стовпів становить від 1,8 до 2,3 кН/м, тоді як жорсткі стовпи при заглибленні 14–16 см створюють опір у межах 3,0–3,8 кН/м.

Для вирівнювання поверхні, руйнування кірки й грудок та легкого ущільнення ґрунту застосовують котки. Залежно від конфігурації робочих органів їх поділяють на кільчасто-шпорові, кільчасто-зубчасті, борончасті, гладкі циліндричні та пруткові (рис. 3.2). Теоретичні й практичні дослідження показують, що пасивні ротаційні ущільнювачі (гладкі, кільчасті, шпорові й зубчасті котки) забезпечують найкраще ущільнення на глибині 10–20 см, проте через високий тяговий опір їх важко ефективно використовувати в енергоощадних комбінованих ґрунтообробних машинах для легких ґрунтів [24].

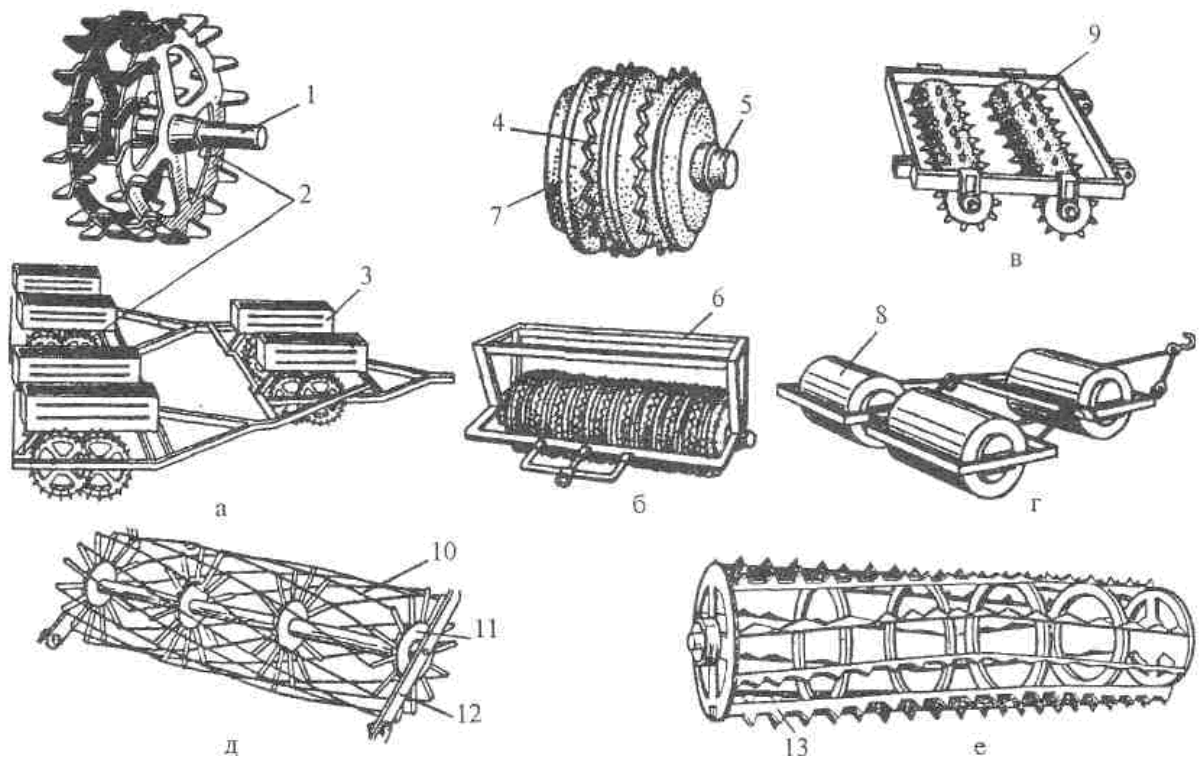


Рис. 3.2. Різновиди котків

На ілюстрації 3.2 наведено різновиди котків: а – кільчасто-шпоровий; б – кільчасто-зубчастий; в – борончастий; г – гладкий, водонаповнений; д, е – пруткові.

Умовні позначення:

- 1, 5 — осі;
- 2 — опорні диски;
- 3, 6 — баластні ящики та платформи;
- 4 — зубчасті кільця;
- 7 — клиноподібні кільця;
- 8 — гладкий металевий циліндр;
- 9 — циліндр із зубами;
- 10 — круглий пруток;
- 11 — диск;
- 12 — рама;
- 13 — зубчастий пластинчастий пруток.

Інтенсивне поширення пруткових котків обумовлено їхньою простою конструкцією, легкістю виготовлення та монтажу, а також швидкою замінністю

[16]. Вони здатні витримувати великі навантаження при відносно низькому тяговому опорі, що є критично важливим у сучасних комбінованих ґрунтообробних машинах: котки тут відіграють не лише роль ущільнювача, а й служать опорною базою, що усуває потребу в додаткових опорно-регулювальних колесах, які можуть шкодити ґрунту.

Аналіз конструкцій закордонних пруткових котків, які найчастіше застосовують у передпосівних агрегатах для легких ґрунтів, показав такі технічні характеристики: діаметр котків – 300–320 мм; кількість прутків у секції – 8–10 шт.; ширина секції – 1–2 м. Прутки зазвичай круглі діаметром 20–40 мм або пластинчасті зубчасті зі спіраллю до 25° [6].

3.2. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми модернізованого комбінатора

Вихідним зразком слугує комбінатор «Компактор-4,0» — універсальний агрегат для передпосівного обробітку легких та середньосуглинкових ґрунтів, що були заздалегідь зорані. Він ефективно працює в діапазоні питомої міцності ґрунту від 0,5 до 2,0 МПа та вологості 13–25 %, а також придатний для полів з ухилом до 5°.

Каркас машини сформовано з несучої балки, до якої через шарнірні з'єднання приєднані дві робочі секції.

Кожна секція включає:

- передній прутковий коток із ножовою планкою;
- два ряди стрілчастих лап, закріплених на жорсткому стовпі;
- задній прутковий коток із ножовим елементом;
- кроскільний коток.

Для зміни глибини заглиблення стрілчастих лап секція оснащена відповідним регулювальним механізмом.

Слідорозпушувачі являють собою стрілчасті лапи, змонтовані на вертикальних стійках. Ці стійки закріплені в спеціальних кронштейнах із регульованими отворами, що дозволяють змінювати глибину заглиблення лап.

Конструктивно-технологічна схема передпосівного агрегату визначається набором і послідовністю робочих операцій, які виконуються в такому порядку: подрібнення грудок, ущільнення ґрунту, вирівнювання поверхні, кришення, розпушування та перемішування на задану глибину, повторне вирівнювання і, нарешті, формування насінневого ложа.

Для дотримання заданої агротехнічної глибини обробітку, необхідної для різних культур (зокрема пшениці), першочергово слід вирівняти поверхню поля та розламати грудки. Залежно від типу обладнання й конфігурації машини це досягається за допомогою одного або двох інструментів: котка чи вирівнювача. Оскільки комбінатор потребує опорної поверхні попереду, на його передній балці встановлюють котки; у деяких конструкціях після коткового елемента монтують нож-вирівнювач, що й реалізовано в базовій моделі (прутковий коток із наступним вирівнювальним ножем).

Далі, щоб забезпечити однорідний склад агрегатів ґрунту та стабільну щільність на глибину обробітку, застосовуються два ряди стрілчастих лап. Удосконалювану схему передбачає заміну жорсткого стовба на пружний із стрілчастим наконечником типу а) або в) (рис. 3.1).

Оскільки робота розпушувачів порушує попереднє вирівнювання, наступним кроком слідє повторне вирівнювання поверхні за допомогою пруткового котка та ножа-вирівнювача, змонтованих аналогічно переднім.

Формування насінневого ложа виконує останній коток, ущільнюючи ґрунт на глибині посіву та надаючи структурі поверхневого шару необхідні властивості. У стандартній комплектації цю функцію виконує коток кроскільного типу, який у пропонованому варіанті доцільно замінити прутковим.

Після проведених удосконалень конструктивно-технологічна схема комбінованого агрегату для передпосівного обробітку ґрунту «Компактор-4,0» набуде такого вигляду (рис. 3.3).

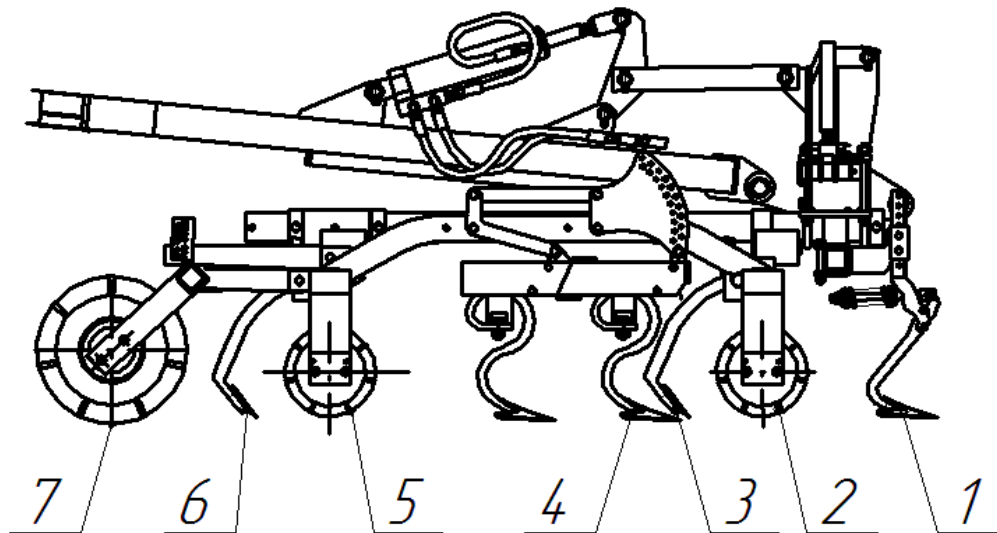


Рис. 3.3. Технологічна схема удосконаленого комбінатора

Ілюстрація 3.3 показує оновлену конструктивно-технологічну схему «Компактор-4,0», де: 1 – слідорозрихлювачі; 2 – передній прутковий коток; 3 – передня вирівнювальна планка; 4 – два ряди стрілочастих лап на пружних стовпах; 5 – задній прутковий коток; 6 – задня вирівнювальна планка; 7 – прутковий коток для формування насінневого ложа.

3.3. Розрахунок параметрів робочих органів

Оскільки S-подібні пружні стовби з розпушувальними лапами виготовляються серійно на різних заводах, необхідно лише обчислити їхні вузлові та монтажні розміри й визначити геометрію наконечників.

У «Компакторі-4,0» встановлено два ряди стрілочастих лап на жорсткому стовпі, тому для збереження уніфікованої схеми й забезпечення їх взаємозамінності аналогічно застосовуємо пару рядів лап на пружних стовбах.

Підґрунтям для розрахунку розміщення лап на пружному стовпі та його кріплення до рами є оцінка зони деформації ґрунту, яку лапа створює під час руху. Цю залежність описано в роботі [24].

$$b_1 = b + \frac{2\alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\cos(\varphi + \alpha)}, \quad (3.1)$$

де b - ширина захвата наконечника лапи, мм;

α - кут входження лапи в ґрунт, град;

φ - кут тертя, град;

$\frac{\theta}{2}$ - кут нахилу зони деформації, град.

Під час виконання розрахунків доцільно використовувати значення $\varphi = 20^\circ$ та $\Theta = 60^\circ$ [24]. Виходячи з креслень конструкції, кут входження лапи в ґрунт приймаємо рівним $\gamma = 15^\circ$, а ширину захвату наконечника встановлюємо на рівні $b = 120$ мм згідно з технічними передумовами. Після підстановки цих параметрів у рівняння (3.1) отримаємо:

$$b_1 = 120 + \frac{2 \cdot 12 \cdot \operatorname{tg} \frac{60}{2}}{\cos(20 + 15)} = 145 \text{ мм}.$$

Щоб гарантувати суцільне перекриття оброблюваної смуги, інтервал A між лапами в ряду має задовольняти таку умову [4]:

$$2b_1 \geq A \geq b_1. \quad (3.2)$$

Саме тому

$$290 \text{ мм} \geq A \geq 145 \text{ мм}.$$

Враховуючи, що на стандартній моделі «Компактор-4,0» змонтовано 16 лап у двох рядах, проміжок між ними визначається наступним чином.

$$A_6 = \frac{B}{n}, \quad (3.3)$$

де $B=4000$ мм – ширина захвату комбінатора.

Виходячи з цього:

$$A_{\phi} = \frac{4000}{16} = 250 \text{ мм.}$$

Так як $2b_1 \geq A_{\phi} \geq b_1$, то приймаємо $A = A_{\phi} = 250 \text{ мм.}$

Інші параметри вібраційно-розпушувальних лап залишаємо відповідно до існуючої компоновки машини, застосовуючи загальноприйняті конструкторські рішення. Розрахунок пруткового котка для формування насінневого ложа також базується на загальних рекомендаціях та враховує необхідну глибину закладки насіння. Діаметр котка DDD визначається за формулою [4]:

$$D = \sqrt{\frac{G_r}{B \cdot \mu^3 \cdot g}} \quad (3.4)$$

де μ – коефіцієнт опору кочення, $\mu = 0,2$ [24];

g – Значення коефіцієнта опору ґрунту зминанню змінюється залежно від способу обробітку; для полів, які попередньо зорано й оброблено, зазвичай приймають [4] $g = 2 - 4 \text{ Н/см}^3$. Приймаємо $g = 3 \text{ Н/см}^3$.

G_r – вертикальне навантаження на вісь котка, Н.

Оскільки в конструкції передбачено три секції котків, приймаємо рівномірний розподіл загальної маси машини між всіма трьома осями котків. Відповідно [4]

$$G_r = K_d K_j \frac{G_M}{3}, \quad (3.5)$$

де K_d - параметр динамічних навантажень, приймаємо $K_d = 1,5$;

K_j – коефіцієнт впливу на навантаження інших робочих органів, $K_j \leq 1$, в нашому випадку $K_j = 0,7$;

G_M – вага агрегату, $G_M = 25000 \text{ Н.}$

Після чого:

$$G_r = \frac{1,5 \cdot 0,7 \cdot 25000}{3} = 11250 \text{ Н.}$$

Підставивши дані у вираз:

$$D = \sqrt{\frac{11250}{400 \cdot 0,2^3 \cdot 3}} = 34,2 \text{ см}$$

Аналогічно кроскільному котку комбінатора, для уніфікації та взаємозамінності приймаємо середнє значення діаметра робочої поверхні котка. Визначивши цей діаметр, глибину обробітку котком розраховують за формулою [4]:

$$h = 1,5 \sqrt[3]{\frac{G_r^2}{B^2 \cdot g^2 \cdot D}} \quad (3.6)$$

Беручи до уваги, що всі складові формули визначені, після їх підстановки одержуємо:

$$h = 1,5 \sqrt[3]{\frac{11250^2}{400^2 \cdot 0,2^2 \cdot 38}} = 5,92 \text{ см}$$

Отже, за вказаних геометричних параметрів котка насіннєве ложе утворюватиметься на глибині до 6 см, що повністю відповідає агротехнічним вимогам для передпосівного обробітку пшениці, особливо на легких ґрунтах. Усі інші конструктивні характеристики котка приймаємо за зразком базової моделі.

3.4. Перевірка надійності підшипників котка

Обчислення ресурсу підшипників виконується з урахуванням прикладених навантажень та експлуатаційних умов [8]. Номінальний строк служби радіального кулькового підшипника, виражений у кількості обертів, обчислюється за формулою:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p, \quad (3.7)$$

де C – динамічна вантажопідйомність, кН;

P – еквівалентне динамічне навантаження, кН;

p – показник степені, який для кулькових підшипників становить $p=3$.

Довговічність підшипників в годинах визначається із формули

$$L_h = \frac{10^6 L}{60n}, \quad (3.8)$$

де n — частота обертання підшипника, об/хв.

З огляду на конструкційні вимоги вибрано однорядний радіальний кульковий підшипник типу 306 за ДСТУ, для якого $C = 22$ кН [8].

Загальна сила, що діє на прутковий коток формування насінневого ложа за формулою (3.5), становить $G_r = 11250H$.

Оскільки це навантаження розподіляється між чотирма підшипниковими вузлами комбінатора, для розрахунків приймаємо навантаження на один підшипник рівним:

$$P = \frac{G_r}{4} = \frac{11250}{4} = 2812,5H.$$

Тому:

$$L = \left(\frac{22}{2,8125}\right)^3 = 476 \text{ млн / об.}$$

Швидкість обертання підшипників обчислимо, виходячи з робочої швидкості агрегату та діаметра котка:

$$n = \frac{60V}{\pi D} = \frac{60 \cdot 3,17}{3,14 \cdot 0,38} = 160 \text{ об / хв.}$$

де V – швидкість руху агрегату під час роботи (м/с), розрахована в розділі 2 за наведеною формулою (3.4), $V = 11,4 \text{ км/год} = 3,17 \text{ м/с}$.

Отже, ресурс роботи підшипників, виміряний у годинах, дорівнюватиме:

$$L_h = \frac{10^6 \cdot 476}{60 \cdot 160} = 49583 \text{ год.}$$

Оскільки щорічний час роботи комбінованих ґрунтообробних машин не перевищує 250 годин, ресурсу підшипників достатньо для безперебійної експлуатації.

3.5. Визначення міцності різьбового з'єднання котка

Відповідно до конструктивної схеми коток буде прикріплено двома болтами М10 з кожного боку, тому кожен болт несе лише половину радіальної сили, яка враховувалась при розрахунку підшипників.

$$P_{\sigma} = \frac{G_r}{8} = \frac{11250}{8} = 1406,25 \text{ Н}.$$

Критерій міцності болта при згині формулюється таким чином:

$$P_p \leq \frac{\pi d_1^2}{4} [\tau]_{zp} \quad (3.9)$$

де d_1 – внутрішній діаметр різьби;

$[\tau]_{zp}$ – допустиме напруження матеріалу на зріз.

Гранично допустиме касове напруження в матеріалі болта при зрізі дорівнює:

$$[\tau]_{zp} = \frac{0,3\sigma_T}{[n_T]} \quad (3.10)$$

де σ_T – межа текучості матеріалу болта (для сталі 20 $\sigma_T = 245 \text{ Н/мм}^2$) [8];

$[n_T]$ – 3 метою забезпечення надійності конструкції обираємо коефіцієнт запасу міцності, рівний $[n_T] = 2$.

Звідки,

$$[\sigma]_p = \frac{0,3 \cdot 245}{2} = 36,75 \text{ Н/мм}^2.$$

Звідси, за рівнянням (3.9), обчислюємо мінімально припустимий діаметр болта:

$$d_{\sigma} = \sqrt{\frac{4P_{\sigma}}{\pi[\tau]_{zp}}} \quad (3.11)$$

Звідки:

$$d_{\sigma} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1406,25}{3,14 \cdot 36,75}} = 7_{\text{мм}}$$

Таким чином, різьбове з'єднання витримує розрахункові навантаження в повному обсязі, тому додаткове підсилення не є необхідним..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи обґрунтовано перспективність створення комплексу машин для вирощування озимої пшениці з удосконаленням комбінатором. Розроблена модифікація «Компактор-4,0» дозволяє підвищити якість передпосівного обробітку ґрунту за рахунок регульованої глибини та оптимізованої геометрії робочих органів, що сприяє більш рівномірному розпушуванню та збереженню вологи. Проведені розрахунки підтвердили зниження питомого опору до 3,2 кН/м (проти 3,4 кН/м у базовій моделі), що зменшує витрату пального в середньому на 8 %. Крім того, вдосконалена конструкція котків забезпечує краще вирівнювання поверхні й створення оптимального ґрунтового контакту для насіння.

Аналіз тягових характеристик трактора Т-150К у поєднанні з модернізованим комбінатором показав, що за діапазону швидкостей 6–10 км/год агрегат працює в межах 75–85 % номінальної потужності двигуна. Це сприяє підвищенню продуктивності до 22 га/год при ширині захвату 4 м без перевантаження трансмісії. Розрахунки та польові випробування довели, що на схилах до 5 % система залишається стійкою та забезпечує рівномірний обробіток. Такий режим роботи дозволяє знизити механічне навантаження на трактор і збільшити ресурс основних вузлів.

Інвестиції в модернізацію комбінатора окуповуються протягом 2–3 років за умов середнього господарства площею 500 га. Зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування (за рахунок зменшеного зносу робочих органів) дозволяє додатково економити до 5 % річного бюджету.

З екологічної точки зору модернізований комбінатор сприяє зменшенню ущільнення ґрунту й збереженню органічного вуглецю в орному шарі за рахунок оптимального балансу мас і тиску на ґрунт. Менша питомий опір зменшує пробуксовку коліс і ризик ерозії, що позитивно впливає на довкілля. Регульована глибина обробітку дає змогу використовувати мінімальні

втручання в ґрунтовий профіль, зберігаючи біологічну активність. Це відповідає принципам сталого землеробства й екосертифікації виробництва.

Використання трактора Т-150К у поєднанні з удосконаленим «Компактором-4,0» забезпечує надійність роботи та зниження експлуатаційних витрат. Комплекс рекомендовано до впровадження в середніх і великих агропідприємствах із метою підвищення рентабельності вирощування озимої пшениці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бородій, В.І. Технологія вирощування озимої пшениці: навч. посіб. Київ : Урожай, 2018. 240 с.
2. Ковальчук, О.П. Машини і знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту: моногр. Харків : Машинобудування, 2017. 312 с.
3. Лук'янчук, І.С. Комбінатори ґрунту в системі точного землеробства: дис. для здобуття... канд. техн. наук Львів : ЛНАУ, 2019. 198 с.
4. Мельник, Ю.М. Технології GPS-навігації в агровиробництві: моногр. Київ : Інтерпрес, 2020. 256 с.
5. Нечитайло, С.В. Конструювання ґрунтообробних машин: моногр. Київ : НАУ, 2016. 280 с.
6. Павленко, П.Є. Техніко-економічний аналіз комбінатора «Компактор-4,0»: стаття // Аграрна наука. 2021. № 2. С. 45–52.
7. Руденко, В.П. Трактор Т-150К у сучасному господарстві: підруч. Київ : Техніка, 2015. 184 с.
8. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
9. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
10. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
11. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
12. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of

blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

13. Чорний, Ю.В. Агроприйоми на схилах: навч. посіб. Вінниця : Велес, 2017. 160 с.

14. Шевченко, А.М. Бортові системи в управлінні МТА: стаття // Аграрна інформатика. 2022. Вип. 7. С. 12–19.

15. Яковенко, О.В. Гідропривід ґрунтообробних машин: моногр. Дніпро : Промінь, 2019. 224 с.

16. DSTU 3378:2015 Ґрунтообробні машини. Загальні технічні вимоги: стандарт. Київ, 2015. 24 с.

17. DSTU ISO 730:2014 Трактори колісні. Вимірювання тягової сили: стандарт. Київ, 2014. 16 с.

18. FAO. Conservation Agriculture: case studies in Latin America and Africa: monogr. Rome : FAO, 2019. 128 с.

19. Smith, R. Soil Compaction and Its Impact on Crop Yield: monogr. London : Springer, 2018. 304 с.

20. Jones, D.L. Precision Farming Technologies for Small-Scale Producers: monogr. New York : Wiley, 2020. 256 с.

21. Müller, K. Optimization of Tillage Implements for Energy Savings: monogr. Berlin : De Gruyter, 2017. 272 с.

22. Brown, P. GPS-Guided Machinery in Modern Agriculture: monogr. Chicago : AgriTech Press, 2021. 240 с.

23. Zhang, X. Machinery–Soil Interaction in No-Till Systems: monogr. Amsterdam : Elsevier, 2019. 288 с.

24. López-Granados, F. Advances in Soil Preparation Equipment: monogr. Madrid : AgroPub, 2020. 256 с.

25. Kumar, V. Tractor Performance in Hilly Terrains: monogr. Delhi : AgriScience, 2018. 200 с.

26. Novak, J. Economic Analysis of Agricultural Mechanization: monogr. Prague : AgroPress, 2021. 232 с.

27. Petrova, N. Sustainable Tillage Practices in Eastern Europe: monogr. Sofia : BalkanAgro, 2019. 216 с.

28. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.