МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Давиденко Артем Віталійович

УДК 633.11:631.51:631.8:631.3

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення комплексу машин для вирощування озимої пшениці з модернізацією розкидача мінеральних добрив

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 _____ Давиденко А.В.

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

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Давиденко Артем Віталійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування озимої пшениці з модернізацією розкидача мінеральних добрив. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для виробництва озимої пшениці в умовах зони Полісся Житомирської області. Обґрунтовано актуальність підвищення ефективності технологічної операції внесення мінеральних добрив як одного з важливих чинників формування врожайності культури. Проаналізовано особливості вирощування озимої пшениці, ґрунтово-кліматичні умови зони Полісся та основні напрями вдосконалення механізованої технології. Для площі вирощування 500 га підібрано раціональний комплекс машин і розроблено технологічну карту виконання основних виробничих операцій. Особливу увагу приділено внесенню мінеральних добрив удосконаленим розкидачем МВУ-5 в агрегаті з трактором МТЗ-80. Запропоноване удосконалення розкидача спрямоване на підвищення рівномірності розподілу добрив, збільшення робочої ширини захвату та зменшення непродуктивних втрат матеріалу. У роботі розглянуто вимоги охорони праці під час експлуатації машинно-тракторного агрегату та роботи з мінеральними добривами. Проведене техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність запропонованих проектних рішень для підвищення ефективності виробництва озимої пшениці.

Ключові слова: озима пшениця, мінеральні добрива, розкидач, технологічна карта, комплекс машин.

ANNOTATION

Artem Vitaliyovych Davydenko. Improvements to a set of machines for growing winter wheat, including the modernisation of the mineral fertiliser spreader. *– 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, 2026.

This thesis examines the issue of improving the machinery used for winter wheat production in the Polissia region of Zhytomyr Oblast. It justifies the importance of increasing the efficiency of the mineral fertiliser application process as one of the key factors influencing crop yield. The paper analyses the specific features of winter wheat cultivation, the soil and climatic conditions of the Polissia region, and the main directions for improving mechanised technology. For a cultivation area of 500 ha, a rational set of machinery has been selected and a flow chart for carrying out the main production operations has been developed. Particular attention is paid to the application of mineral fertilisers using the improved MVU-5 spreader in combination with an MTZ-80 tractor. The proposed improvement to the spreader is aimed at increasing the uniformity of fertiliser distribution, widening the working width and reducing unproductive material losses. The paper examines health and safety requirements during the operation of the machine-tractor combination and when working with mineral fertilisers. The technical and economic justification carried out confirms the feasibility of the proposed design solutions for improving the efficiency of winter wheat production.

Keywords: winter wheat, mineral fertilisers, spreader, process flow chart, machinery complex.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ТА ШЛЯХІВ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЛЯ УМОВ ЗОНИ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ……...…9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ДЛЯ УМОВ ЗОНИ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ..…14
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО ПРИСТРОЮ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ……..…….23
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ……...…..40
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……..46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……...….56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Озима пшениця є однією з найважливіших зернових культур України, яка займає провідне місце у структурі посівних площ і має велике продовольче та економічне значення. Вона є основною сировиною для виробництва хліба, борошна, круп, комбікормів та інших продуктів переробки зерна. Вирощування озимої пшениці забезпечує стабільне надходження зернової продукції, сприяє підвищенню прибутковості сільськогосподарських підприємств і відіграє важливу роль у зміцненні продовольчої безпеки держави.

В умовах зони Полісся Житомирської області вирощування озимої пшениці має певні особливості, пов’язані з ґрунтово-кліматичними умовами, рівнем природної родючості ґрунтів, кількістю опадів, строками проведення польових робіт та технічним забезпеченням господарств. Для цієї зони характерні дерново-підзолисті та сірі лісові ґрунти, які часто мають недостатній вміст поживних речовин і потребують науково обґрунтованої системи удобрення. Саме тому ефективне використання мінеральних добрив є одним із головних чинників підвищення врожайності озимої пшениці та поліпшення якості зерна.

Сучасна технологія вирощування озимої пшениці передбачає комплексне виконання взаємопов’язаних технологічних операцій: підготовку ґрунту, внесення добрив, сівбу, догляд за посівами, захист рослин від бур’янів, шкідників і хвороб, а також своєчасне збирання врожаю. Якість виконання кожної з цих операцій значною мірою залежить від правильного вибору машинно-тракторних агрегатів, їх технічного стану, продуктивності, енергоємності та відповідності конкретним виробничим умовам.

Недосконале використання техніки призводить до збільшення витрат пального, робочого часу, втрат урожаю та зниження економічної ефективності виробництва.

Особливе значення в технології вирощування озимої пшениці має операція внесення мінеральних добрив. Від рівномірності їх розподілу по поверхні поля залежить забезпечення рослин елементами живлення, дружність розвитку посівів, стійкість до несприятливих умов і формування продуктивного стеблостою. Нерівномірне внесення добрив може спричинити надмірне загущення або ослаблення окремих ділянок посіву, вилягання рослин, зниження якості зерна та нераціональне використання матеріальних ресурсів. Тому вдосконалення технічних засобів для внесення мінеральних добрив є актуальним завданням для підвищення ефективності виробництва озимої пшениці.

У багатьох господарствах для внесення мінеральних добрив використовуються розкидачі типу МВУ-5, які мають просту конструкцію, достатню надійність і можуть агрегатуватися з тракторами середнього тягового класу, зокрема з трактором МТЗ-80. Проте традиційна конструкція розкидного пристрою не завжди забезпечує необхідну рівномірність розподілу добрив, особливо за зміни їх фізико-механічних властивостей, вологості, гранулометричного складу та норми внесення. У зв’язку з цим виникає потреба в удосконаленні робочих органів розкидача МВУ-5 з метою підвищення якості технологічного процесу, збільшення продуктивності агрегату та зменшення втрат добрив.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності удосконалення комплексу машин для виробництва озимої пшениці та підвищення ефективності виконання технологічної операції внесення мінеральних добрив. Раціональний вибір техніки, обґрунтування технологічної карти та модернізація розкидача МВУ-5 дають можливість покращити якість польових робіт, зменшити експлуатаційні витрати, забезпечити рівномірніше живлення рослин і підвищити врожайність культури.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованого виробництва озимої пшениці в умовах зони Полісся

Житомирської області шляхом удосконалення комплексу машин і детальної розробки технологічної операції внесення мінеральних добрив удосконаленим розкидачем МВУ-5 в агрегаті з трактором МТЗ-80.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати технологію вирощування озимої пшениці та визначити шляхи її вдосконалення для умов зони Полісся Житомирської області;

– спроєктувати технологію вирощування озимої пшениці на площі 500 га;

– підібрати раціональний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій;

– скласти технологічну карту вирощування озимої пшениці;

– обґрунтувати доцільність удосконалення розкидача мінеральних добрив МВУ-5;

– розглянути вимоги охорони праці під час виконання операції внесення мінеральних добрив;

– визначити техніко-економічну ефективність запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування озимої пшениці в умовах зони Полісся Житомирської області.

Предметом дослідження є комплекс машин для виробництва озимої пшениці та технологічна операція внесення мінеральних добрив удосконаленим розкидачем МВУ-5.

Під час виконання роботи використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння машинно-тракторних агрегатів, розрахунку продуктивності техніки, визначення експлуатаційних витрат, а також методи техніко-економічного обґрунтування проектних рішень.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р., Шмагун М., **Давиденко А.** Роботизовані системи для локального внесення добрив та пестицидів у точному землеробстві.

Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026. С. 61-63.

2. Дерев'янко Д.А., **Давиденко А.В.,** Семенчук Д.В. Стан механізації галузі картоплярства в Україні. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26-2.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований комплекс машин і удосконалений розкидач МВУ-5 можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах для підвищення якості внесення мінеральних добрив під озиму пшеницю. Реалізація проектних рішень сприятиме зниженню витрат, раціональному використанню добрив, підвищенню продуктивності агрегату та покращенню економічних показників виробництва зерна.

Таким чином, дана кваліфікаційна робота спрямована на вирішення важливого виробничого завдання – удосконалення механізованої технології вирощування озимої пшениці шляхом підвищення ефективності внесення мінеральних добрив і раціонального використання машинно-тракторного парку.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 28 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 рисунки, 16 таблиць та 1 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ТА ШЛЯХІВ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЛЯ УМОВ ЗОНИ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Значення озимої пшениці та особливості її вирощування в зоні Полісся

Озима пшениця є однією з основних зернових культур у структурі виробництва господарств Житомирської області. Її зерно має важливе продовольче та кормове значення, а стабільний урожай забезпечує економічну результативність роботи аграрного підприємства. Для одержання високої продуктивності необхідно поєднати правильну сівозміну, якісний обробіток ґрунту, оптимальні строки сівби, збалансоване удобрення, захист рослин і своєчасне збирання. У зоні Полісся особливо важливим є раціональне використання мінеральних добрив, оскільки значна частина ґрунтів має невисоку природну родючість, підвищену кислотність і потребує систематичного поповнення елементів живлення.

Природно-кліматичні умови Полісся сприятливі для вирощування озимої пшениці, але вони вимагають чіткого дотримання агротехнічних строків. Культура добре використовує осінньо-зимові запаси вологи, проте її стан після перезимівлі залежить від розвитку кореневої системи, густоти рослин і забезпеченості поживними речовинами восени. Запізнення із сівбою, ущільнення ґрунту або нерівномірне внесення добрив призводять до ослаблення посівів, погіршення кущення та зниження майбутнього врожаю.

1.2. Ґрунтово-кліматичні умови та їх вплив на технологічні операції

Для Полісся Житомирської області характерні дерново-підзолисті, сірі лісові, супіщані та легкосуглинкові ґрунти. Вони часто мають недостатній вміст гумусу, обмежені запаси доступного фосфору і калію, а на легких ґрунтах поживні речовини швидше вимиваються з орного шару. Це зумовлює потребу у поєднанні основного удобрення з підживленням у періоди найвищої потреби рослин. Ефективність мінеральних добрив підвищується за правильного регулювання кислотності ґрунту, внесення органічних добрив, використання рослинних решток і добору кращих попередників.

Клімат області характеризується достатнім зволоженням, помірними температурами та нерівномірним розподілом опадів упродовж року. За таких умов основні технологічні операції потрібно виконувати у стислі строки, щоб зберегти вологу і створити якісне посівне ложе. Надмірна кількість проходів агрегатів ущільнює ґрунт, погіршує водно-повітряний режим і підвищує витрати пального. Тому під час вибору комплексу машин доцільно надавати перевагу агрегатам, які забезпечують високу продуктивність, добру якість обробітку та мінімальний негативний вплив на ґрунт.

1.3. Аналіз технології вирощування озимої пшениці

Вирощування озимої пшениці починається з вибору попередника. Найкращими для умов Полісся є культури, що рано звільняють поле, залишають достатню кількість поживних решток і не висушують ґрунт. До них належать зернобобові, багаторічні трави, ріпак, рання картопля та однорічні кормові культури. Після стерньових попередників необхідно своєчасно провести лущення стерні, подрібнення решток і основний обробіток, що зменшує забур’яненість і покращує фітосанітарний стан поля.

Система обробітку ґрунту повинна забезпечити вирівняну поверхню, дрібногрудкуватий посівний шар і рівномірне загортання насіння. На легких ґрунтах доцільні енергоощадні способи обробітку з мінімальною кількістю

проходів, а на ущільнених ділянках - глибше розпушення або щілювання. Сівбу проводять відкаліброваним і протруєним насінням сортів, адаптованих до умов достатнього зволоження та можливих зимових стресів. Норма висіву і глибина загортання залежать від строків сівби, вологості ґрунту та його механічного складу.

Догляд за посівами включає весняне оцінювання стану рослин, підживлення, боротьбу з бур'янами, хворобами і шкідниками. Ослаблені посіви потребують раннього азотного підживлення для відновлення кущення, а добре розвинені - помірнішого внесення азоту, щоб не допустити надмірного наростання вегетативної маси. Збирання озимої пшениці проводять прямим комбайнуванням у фазі повної стиглості зерна, мінімізуючи втрати від осипання, перестоювання та нерівномірного достигання.

1.4. Роль мінерального живлення у формуванні врожаю

Мінеральне живлення значною мірою визначає продуктивність озимої пшениці. Азот впливає на кущення, формування листкової поверхні, кількість зерен у колосі та вміст білка. Фосфор сприяє розвитку кореневої системи і підвищує зимостійкість рослин. Калій регулює водний режим, підвищує стійкість до вилягання, хвороб і несприятливих погодних умов. Для ґрунтів Полісся важливо не лише збільшувати норму добрив, а й забезпечувати збалансоване співвідношення елементів живлення відповідно до родючості ґрунту і запланованої урожайності.

У традиційній технології фосфорно-калійні добрива вносять переважно під основний обробіток або передпосівну культивацію, а азотні - частинами в осінній і весняний періоди. Найпоширенішими недоліками цієї операції є нерівномірний розподіл гранул по ширині захвату, відхилення фактичної норми від заданої, перекриття або пропуски між проходами агрегату. Такі порушення спричиняють строкатість посівів, нерівномірне достигання і зниження окупності добрив. Тому операція внесення мінеральних добрив

потребує детального технологічного обґрунтування та правильного добору машин.

Умови Полісся посилюють вимоги до якості розсіву, адже неоднорідність ґрунтів і вмісту вологи швидко проявляється у різній густоті та висоті рослин. Рівномірне внесення поживних речовин дає змогу сформувати вирівняний стеблостій, зменшити ризик вилягання і поліпшити використання добрив рослинами. Саме тому під час розробки технологічної операції слід врахувати не лише норму внесення, а й робочу ширину агрегату, швидкість руху, перекриття суміжних проходів і технічний стан розкидного пристрою.

1.5. Недоліки існуючого комплексу машин та напрями вдосконалення

Комплекс машин для виробництва озимої пшениці має забезпечувати підготовку ґрунту, внесення добрив, сівбу, догляд за посівами, захист рослин, збирання і транспортування зерна. У практичних умовах часто використовуються агрегати різного технічного стану та продуктивності, що ускладнює дотримання строків робіт. Недоліками існуючої системи механізації є надмірна кількість проходів по полю, ущільнення ґрунту, підвищені витрати пального, втрати часу на переналагодження машин і недостатній контроль якості виконання операцій.

Вдосконалення технології повинно бути спрямоване на підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів, зменшення енерговитрат і поліпшення якості внесення добрив. Доцільним є використання комбінованих агрегатів, навігаційних систем для зменшення перекриттів, своєчасне технічне обслуговування машин і перевірка фактичної рівномірності розподілу добрив. Для розкидачів важливо правильно налаштовувати дозувальний механізм, робочу ширину, частоту обертання робочих органів і швидкість руху агрегату з урахуванням виду добрив та їх гранулометричного складу.

Особливу увагу доцільно приділити технологічній операції внесення мінеральних добрив, оскільки вона поєднує агрономічну, технічну та економічну складові. Підвищення рівномірності розподілу добрив забезпечує однакові умови живлення рослин, кращий розвиток посівів, зменшення непродуктивних витрат і стабільнішу якість зерна. Удосконалення цієї операції є важливим резервом підвищення ефективності всього комплексу машин для вирощування озимої пшениці в умовах Полісся.

Організаційне вдосконалення технології передбачає складання чітких технологічних карт, планування потреби в пальному, добривах і трудових ресурсах, а також контроль фактичних показників роботи агрегатів. Перед початком сезону необхідно провести технічний огляд машин, перевірити справність дозувальних механізмів, стан приводів, робочих органів і систем регулювання. Такий підхід дає змогу зменшити простої в напружені періоди, забезпечити виконання робіт у встановлені строки та підвищити надійність усього виробничого процесу.

Висновки по розділу

Умови зони Полісся Житомирської області є придатними для вирощування озимої пшениці, однак потребують урахування ґрунтової строкатості, кислотності, достатнього зволоження і ризику ущільнення ґрунту. Найбільшими резервами підвищення урожайності є правильний вибір попередника, якісний обробіток, оптимальні строки сівби, збалансоване удобрення та своєчасний захист рослин.

Аналіз технології показує, що операція внесення мінеральних добрив має вирішальне значення для формування продуктивного стеблостою і високої якості зерна. Її вдосконалення повинно передбачати правильний вибір агрегату, точне регулювання норми внесення, забезпечення рівномірного розсіву і зменшення перекриттів між проходами. Подальше обґрунтування комплексу машин доцільно виконувати з детальною розробкою саме цієї технологічної операції.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ДЛЯ УМОВ ЗОНИ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Вихідні дані для проектування технології

Проектування технології вирощування озимої пшениці виконано для умов зони Полісся Житомирської області на площі 500 га. Зона Полісся характеризується достатнім, а в окремі роки надмірним зволоженням, порівняно невисокою природною родючістю дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтів, підвищеною кислотністю окремих ґрунтових відмін та потребою у системному внесенні мінеральних і органічних добрив. Саме тому технологія повинна бути спрямована не лише на отримання високої врожайності, а й на збереження структури ґрунту, зменшення ущільнення орного шару та раціональне використання енергетичних ресурсів.

Озима пшениця є однією з основних продовольчих культур, тому до її вирощування висувають підвищені вимоги щодо строків сівби, якості підготовки ґрунту, забезпечення рослин елементами живлення, захисту посівів від бур’янів, хвороб і шкідників. Для умов Полісся особливо важливими є вибір попередника, достатній фосфорно-калійний фон перед сівбою, своєчасне азотне підживлення навесні та недопущення переростання рослин восени. Технологічні операції необхідно виконувати в оптимальні агротехнічні строки, оскільки запізнення з підготовкою ґрунту або сівбою призводить до погіршення кущення, зниження зимостійкості та зменшення майбутнього врожаю.

Для проектної технології приймаємо інтенсивний, але енергоощадний варіант вирощування озимої пшениці з використанням сучасних ґрунтообробних, посівних, обприскувальних і збиральних машин. Окрему увагу приділено технологічній операції внесення мінеральних добрив, оскільки вона безпосередньо впливає на рівномірність живлення рослин, урожайність і якість зерна. У проекті передбачено використання

удосконаленого розкидача мінеральних добрив МВУ-5 в агрегаті з трактором МТЗ-80. Таке рішення дає змогу застосувати наявну в господарстві техніку після модернізації робочого органу та підвищити якість розподілу добрив по ширині захвату.

Основні вихідні показники для проектування технології наведено нижче:

– площа вирощування озимої пшениці - 500 га;

– попередник - зернобобові культури, ріпак, рання картопля або інша культура, що рано звільняє поле;

– запланована урожайність - 5,0-5,5 т/га зерна за умови дотримання системи живлення та захисту;

– основна технологічна операція, що деталізується в роботі, - внесення мінеральних добрив;

– агрегат для розкидання мінеральних добрив - трактор МТЗ-80 + удосконалений розкидач МВУ-5;

– спосіб сівби - рядковий, із міжряддям 12,5-15 см, нормою висіву 4,5-5,0 млн схожих зерен на 1 га;

– спосіб збирання - пряме комбайнування за повної стиглості зерна.

2.2. Обґрунтування проектної технології вирощування

Для площі 500 га доцільно застосувати потокову технологію, за якої всі операції виконуються послідовно з мінімальними перервами між ними. Це особливо важливо для осіннього комплексу робіт, коли після збирання попередника необхідно швидко провести лущення стерні, основний або напівпаровий обробіток ґрунту, внести мінеральні добрива, підготувати посівне ложе і виконати сівбу. У зоні Полісся надмірне подрібнення ґрунту небажане, оскільки за випадання опадів це може призвести до ущільнення поверхневого шару та утворення кірки. Тому система обробітку повинна поєднувати якісне загортання рослинних решток із збереженням оптимальної грудкуватої структури.

Після раннього попередника передбачається дискове лущення стерні на глибину 6-8 см, що сприяє провокації проростання падалиці та бур’янів, частковому подрібненню рослинних решток і зменшенню втрат вологи. За потреби через 10-14 діб виконується основний обробіток дисковим або комбінованим агрегатом на глибину 14-18 см. На полях із підвищеним ущільненням доцільно проводити чизелювання на 25-28 см окремими проходами, але в проектній технології перевагу надано комбінованому обробітку, що зменшує кількість проходів техніки та витрати палива.

Перед сівбою необхідно сформувати вирівняне посівне ложе з ущільненим нижнім шаром і дрібногрудкуватим верхнім шаром. Це забезпечує рівномірне загортання насіння на глибину 3-5 см, дружні сходи та добрий розвиток вузла кущення. У разі дефіциту вологи після сівби передбачено коткування кільчасто-шпоровими котками. Воно покращує контакт насіння з ґрунтом, сприяє підтягуванню капілярної вологи та вирівнює поверхню поля для наступних операцій догляду.

Система удобрення проектується з урахуванням планової урожайності, ґрунтово-кліматичних умов і потреби озимої пшениці в елементах живлення. Орієнтовно приймаємо внесення складного добрива NPK перед сівбою та два азотні підживлення навесні. Остаточні дози мають уточнюватися за результатами агрохімічного обстеження ґрунту, однак для технологічної карти можна прийняти середні норми, які відповідають інтенсивній технології вирощування в умовах Полісся.

Захист рослин включає осінній або ранньовесняний контроль бур’янів, фунгіцидні обробки у фазі виходу в трубку та прапорцевого листка, а також інсектицидний захист за перевищення економічного порогу шкодочинності. Для зменшення виробничих витрат і навантаження на довкілля хімічні обробки слід виконувати лише за результатами моніторингу посівів, але в технологічній карті передбачено базові операції, необхідні для стабільного формування врожаю.

2.3. Система удобрення та особливості внесення мінеральних добрив

В умовах Полісся Житомирської області мінеральне живлення є одним із головних чинників підвищення продуктивності озимої пшениці. Ґрунти цієї зони часто мають недостатній вміст рухомого фосфору і калію, а азотний режим значною мірою залежить від температури, вологості та інтенсивності мінералізації органічної речовини. Тому добрива слід вносити диференційовано за строками: основну частину фосфору і калію - до сівби, а азот - переважно дробно, відповідно до фаз розвитку рослин.

Для проектної технології приймаємо таку орієнтовну систему удобрення: передпосівне внесення комплексного добрива NPK 16:16:16 у нормі 250 кг/га, перше весняне підживлення аміачною селітрою у нормі 180 кг/га та друге підживлення азотним добривом у нормі 80 кг/га. За площі 500 га загальна потреба становитиме: комплексного добрива – 125 т, аміачної селітри для першого підживлення – 90 т, азотного добрива для другого підживлення - 40 т. Загальна маса мінеральних добрив, що підлягає внесенню протягом технологічного циклу, становить орієнтовно 255 т.

Внесення добрив виконується агрегатом МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5. Удосконалення розкидача передбачає покращення роботи дискового розкидного пристрою, що дає можливість регулювати ширину захвату та підвищувати рівномірність розподілу гранульованих добрив. Для технологічних розрахунків приймаємо робочу ширину захвату 24 м, робочу швидкість 10 км/год та коефіцієнт використання часу зміни 0,75. Тоді годинна продуктивність агрегату становить: $W = 0{,}1 \cdot B \cdot v \cdot K = 0{,}1 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 0{,}75 = 18$ га/год. Для обробітку площі 500 га потрібно близько 27,8 год чистого робочого часу на одне внесення.

Під час роботи розкидача необхідно забезпечити сухість і сипкість добрив, правильне встановлення заслінки, стабільну частоту обертання дисків, однакову швидкість руху агрегату та перекриття суміжних проходів. У польових умовах перед початком роботи проводять контрольне

налаштування норми внесення, перевіряють фактичну масу добрив, що висівається за одиницю часу, і коригують відкриття дозувальної щілини. Особливу увагу необхідно приділяти розворотним смугам, де нерівномірність внесення найчастіше виникає через зміну швидкості руху або несвоєчасне вмикання і вимикання подачі добрив.

Таблиця 2.1 – Розрахунок потреби в основних матеріалах для площі 500 га

Матеріал	Норма на 1 га	Площа, га	Загальна потреба	Примітка
Насіння озимої пшениці	220 кг	500	110 т	протруєне, кондиційне
NPK 16:16:16	250 кг	500	125 т	основне внесення до сівби
Аміачна селітра	180 кг	500	90 т	перше весняне підживлення
Азотне добриво	80 кг	500	40 т	друге підживлення за станом посівів
Робоча рідина для обприскування	200 л	500	100 м³ на одну обробку	для гербіцидної або фунгіцидної обробки

2.4. Підбір комплексу машин для вирощування озимої пшениці

Комплекс машин для площі 500 га повинен забезпечувати виконання робіт у стислий агротехнічний строк, мати достатню продуктивність і бути узгодженим за тяговими класами тракторів, шириною захвату та пропускною здатністю. У проекті поєднано сучасні високопродуктивні машини для основних польових операцій і модернізований наявний агрегат для внесення мінеральних добрив. Такий підхід дозволяє знизити капітальні витрати на оновлення всього машинно-тракторного парку і водночас забезпечити високу якість ключових технологічних операцій.

Для ґрунтообробних робіт доцільно використовувати енергонасичений трактор потужністю 180-220 к.с. у комплекті з дисковим або комбінованим агрегатом шириною 5-6 м. Для сівби приймаємо сучасну зернову сівалку прямого або мінімального обробітку типу Horsch Pronto 6 DC або Väderstad Rapid A 600S, яка виконує підготовку посівного ложа, висів насіння та прикочування за один прохід. Для хімічного захисту посівів доцільно застосовувати причіпний обприскувач із шириною штанги 24 м, що

забезпечує узгодження з технологічною колією і зменшує кількість проходів по полю.

Збирання врожаю передбачається зернозбиральним комбайном класу Claas Lexion, John Deere S-серії або іншим комбайном аналогічної продуктивності з жаткою 7,5-9,0 м. Для транспортування зерна від комбайна використовують тракторні причепи або автомобілі-самоскиди. Організація транспорту має забезпечити безперервну роботу комбайна, оскільки простої під час збирання призводять до втрати стиглого зерна, погіршення якості та збільшення витрат.

Таблиця 2.2 – Рекомендований комплекс машин для проектної технології

Вид робіт	Рекомендована машина	Енергетичний засіб	Основні параметри	Обгрунтування вибору
Лущення стерні	Väderstad Carrier 650 або аналог	John Deere 6195M / Case IH Puma 210	ширина 6-6,5 м; глибина 6-8 см	якісне подрібнення решток і провокація бур’янів
Основний обробіток	Lemken Rubin 10/600 або Horsch Tiger 6 AS	трактор 200-260 к.с.	ширина 6 м; глибина 14-18 см	зменшення кількості проходів і покращення структури ґрунту
Передпосівна підготовка	Lemken Korund 8 або компактор	трактор 150-180 к.с.	ширина 8 м; глибина 4-6 см	формування рівного посівного ложа
Внесення добрив	удосконалений МВУ-5	МТЗ-80	ширина 15-30 м; прийнято 24 м	підвищення рівномірності розподілу добрив
Сівба	Horsch Pronto 6 DC / Väderstad Rapid A 600S	трактор 180-220 к.с.	ширина 6 м; міжряддя 12,5-15 см	суміщення підготовки, висіву і прикочування
Обприскування	Amazone UX 4200 / Berthoud Tracker	трактор 100-150 к.с.	штанга 24 м; бак 3200-4200 л	висока продуктивність і точне внесення ЗЗР
Збирання	Claas Lexion 760 або аналог	самохідний комбайн	жатка 7,5-9 м	достатня продуктивність для 500 га
Транспортування зерна	причепи 2ПТС-9, НТС-10 або автомобілі	МТЗ-82 / вантажний автомобіль	вантажність 9-20 т	забезпечення безперервності збирання

2.5. Розрахунок продуктивності агрегату для внесення мінеральних добрив

Оскільки детальною операцією кваліфікаційної роботи є внесення мінеральних добрив, для неї виконуємо орієнтовний розрахунок продуктивності та тривалості роботи агрегату. Приймаємо, що удосконалений МВУ-5 працює з трактором МТЗ-80 на робочій швидкості 10 км/год. Робоча ширина захвату залежить від виду добрив, стану гранул, вологості та налаштування розкидних дисків. Для розрахунків приймаємо

середнє значення 24 м, що відповідає роботі удосконаленого дискового розкидного пристрою з перекриттям суміжних проходів.

Годинну продуктивність агрегату визначаємо за формулою W = 0,1 · B · v · K, де B – робоча ширина захвату, м; v - робоча швидкість руху, км/год; K - коефіцієнт використання часу зміни. При B = 24 м, v = 10 км/год і K = 0,75 отримаємо W = 18 га/год. Для одного суцільного внесення добрив на площі 500 га тривалість роботи становить T = F / W = 500 / 18 = 27,8 год. За тривалості зміни 7 год потрібно близько 4 змін, а для трьох запланованих внесень - близько 12 змін роботи агрегату.

Продуктивність агрегату може знижуватися через підвезення добрив, завантаження бункера, розвороти, контрольні зважування та коригування норми внесення. Тому під час організації роботи необхідно передбачити місце тимчасового зберігання добрив на краю поля, справний навантажувач, транспорт для підвезення добрив і чітку схему руху агрегату. Для зменшення технологічних втрат доцільно використовувати паралельне водіння або маркерні сліди, особливо за ширини захвату понад 20 м.

2.6. Технологічна карта вирощування озимої пшениці на площі 500 га

Технологічна карта складена для інтенсивної технології вирощування озимої пшениці в умовах Полісся Житомирської області. Норми витрати палива та продуктивність агрегатів наведено орієнтовно і можуть уточнюватися залежно від рельєфу поля, вологості ґрунту, довжини гону, технічного стану машин і фактичних агротехнічних строків.

Таблиця 2.3 – Технологічна карта вирощування озимої пшениці

№	Технологічна операція	Строк виконання	Агротехнічні вимоги	Склад агрегату	Матеріал і норма	Площа, га	B, м	v, км/год	K	W, га/год	T, год	Паливо, л/га / всього
1	Лущення стерні після збирання попередника	липень-серпень	глибина 6-8 см; подрібнення решток	John Deere 6195M + Väderstad Carrier 650	-	500	6.5	10	0.75	4.9	102.0	6,5 / 3250
2	Основний обробіток ґрунту	серпень	14-18 см; вирівнювання поверхні	Case IH Puma 210 + Lemken Rubin 10/600	-	500	6.0	9	0.74	4.0	125.0	10,0 / 5000
3	Внесення основного мінерального добрива	перед передпосівним обробітком	рівномірне розсіювання; перекриття проходів	МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5	NPK 16:16:16 - 250 кг/га	500	24.0	10	0.75	18.0	27.8	2,0 / 1000
4	Передпосівна культивація	за 1-2 доби до сівби	глибина 4-6 см; вирівняне посівне ложе	John Deere 6155M + Lemken Korund 8	-	500	8.0	9	0.8	5.8	86.2	5,5 / 2750
5	Протруювання насіння	до сівби	рівномірне нанесення препарату	стаціонарний протруювач ПС-10А або аналог	насіння 110 т	500	-	-	-	10 т/год	11.0	-
6	Сівба озимої пшениці	10-25 вересня	глибина 3-5 см; міжряддя 12,5-15 см	трактор 200 к.с. + Horsch Pronto 6 DC	насіння - 220 кг/га	500	6.0	9	0.75	4.1	122.0	8,0 / 4000
7	Післяпосівне коткування	відразу після сівби	ущільнення посівного ложа без переущільнення	МТЗ-82 + кільчасто-шпорові котки ККШ-6	-	500	6.0	9	0.8	4.3	116.3	3,0 / 1500
8	Осінній огляд посівів і, за потреби, гербіцидний захист	жовтень	обробка у фазі 2-3 листків бур'янів	John Deere 6155M + Amazone UX 4200	робоча рідина 200 л/га	500	24.0	12	0.75	21.6	23.1	1,2 / 600
9	Перше весняне підживлення	відновлення вегетації	по мерзлоталому ґрунту або ранньою весною	МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5	аміачна селітра - 180 кг/га	500	24.0	10	0.75	18.0	27.8	2,0 / 1000
10	Ранньовесняне боронування за потреби	березень-квітень	руйнування кірки; збереження рослин	МТЗ-82 + легкі борони	-	500	12.0	9	0.8	8.6	58.1	2,5 / 1250
11	Гербіцидна обробка	кущення - вихід у трубку	обробка за наявності бур'янів	John Deere 6155M + Amazone UX 4200	робоча рідина 200 л/га	500	24.0	12	0.75	21.6	23.1	1,2 / 600
12	Друге азотне підживлення	вихід у трубку	підживлення за станом посівів	МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5	азотне добриво - 80 кг/га	500	24.0	10	0.75	18.0	27.8	2,0 / 1000
13	Фунгіцидна обробка 1	вихід у трубку	захист листкового апарату	John Deere 6155M + Amazone UX 4200	робоча рідина 200 л/га	500	24.0	12	0.75	21.6	23.1	1,2 / 600
14	Фунгіцидна обробка 2 та інсектицид за потреби	прапорцевий листок - колосіння	захист прапорцевого листка і колоса	John Deere 6155M + Amazone UX 4200	робоча рідина 200 л/га	500	24.0	12	0.75	21.6	23.1	1,2 / 600
15	Збирання врожаю прямим комбайнуванням	липень	вологість зерна 14-18%; мінімальні втрати	Claas Lexion 760 + жатка 7,5 м	-	500	7.5	5	0.65	2.4	208.3	14,0 / 7000
16	Транспортування зерна від комбайна	одночасно зі збиранням	безперервне відвезення зерна	МТЗ-82 + причіп НТС-10 / автомобілі	урожай 2500-2750 т	500	-	-	-	-	-	залежно від відстані

2.7. Організація виконання робіт і висновки до розділу

Найбільш напруженими періодами в проектній технології є серпень-вересень, коли виконуються ґрунтообробні роботи, внесення основних добрив, передпосівна підготовка ґрунту і сівба, а також липень, коли проводиться збирання врожаю. Для дотримання строків сівби на площі 500 га

необхідно забезпечити безперервну роботу посівного агрегату, своєчасне підвезення насіння і добрив, а також якісну підготовку поля до початку сівби. За продуктивності сівалки близько 4,1 га/год увесь обсяг сівби може бути виконаний орієнтовно за 18 робочих змін тривалістю 7 год або швидше за умови збільшення тривалості зміни та якісної організації допоміжних робіт.

Операція внесення мінеральних добрив виконується модернізованим агрегатом МТЗ-80 + МВУ-5. Розрахункова продуктивність 18 га/год дозволяє за одну зміну вносити добрива на площі близько 120-125 га. Отже, одне суцільне внесення на площі 500 га можна виконати приблизно за чотири зміни. Це відповідає вимогам інтенсивної технології, оскільки дає змогу швидко внести добрива перед сівбою або в ранньовесняний період, коли строки робіт обмежені погодними умовами.

Запропонований комплекс машин забезпечує виконання повного циклу вирощування озимої пшениці на площі 500 га: післязбиральний і основний обробіток ґрунту, внесення добрив, сівбу, догляд за посівами, захист рослин, збирання та транспортування зерна. Використання сучасної посівної, ґрунтообробної та обприскувальної техніки поєднується з удосконаленням наявного розкидача МВУ-5, що є економічно доцільним для господарства. Основним напрямом удосконалення технології є підвищення рівномірності внесення мінеральних добрив, зменшення втрат робочого часу та забезпечення точного виконання норм внесення на всій площі поля.

Таким чином, розроблена технологічна карта може бути використана як основа для організації виробництва озимої пшениці в умовах Полісся Житомирської області. За дотримання агротехнічних строків, оптимальної системи удобрення, якісного захисту посівів та раціонального використання машинно-тракторного парку вона забезпечує створення передумов для отримання стабільного врожаю зерна на рівні 5,0-5,5 т/га.

РОЗДІЛ 3
УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО ПРИСТРОЮ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

3.1. Огляд існуючих розкидних дисків

Рівномірне поверхневе внесення мінеральних добрив є однією з важливих умов отримання стабільної врожайності сільськогосподарських культур. Якість виконання цієї операції залежить не лише від властивостей добрив і швидкості руху агрегату, а й від конструкції висівного або розкидного апарата. Саме робочий орган формує потік гранул, надає їм необхідної швидкості, визначає напрямок польоту та забезпечує перекриття суміжних смуг розсіву.

За принципом дії туковисівні апарати, що використовуються для внесення мінеральних добрив, умовно поділяють на дві основні групи: машини з тарілковими тукорозкидачами та машини з відцентровими розкидними апаратами. Тарілкові апарати здебільшого застосовують у тих випадках, коли потрібно витримати невеликі норми внесення і забезпечити високу точність дозування. Добрива потрапляють на обертову тарілку, переміщуються до її краю та висіваються через регульовану щілину.

Перевагою тарілкових тукорозкидачів є відносно плавна подача матеріалу і можливість точного встановлення норми висіву. Регулювання здійснюють зміною частоти обертання тарілки та висоти щілини між дном тарілки і заслінкою. Однак така схема має істотне обмеження: вона майже не дає змоги оперативно змінювати ширину захвату агрегату без зміни робочого органа або без додаткових пристроїв для спрямування потоку добрив.

Відцентрові розкидні апарати набули поширення завдяки простоті будови, високій продуктивності та здатності створювати значну ширину розсіву. У таких машинах добрива надходять на один або два обертові диски з лопатками. Під дією відцентрової сили частинки рухаються по лопатці до периферії диска, відриваються від її кінця та летять у напрямку, який

визначається швидкістю обертання, радіусом сходу і кутовим положенням лопаток.

Розкидачі типу НРУ-5, МВУ-5, РУМ-5 і 1-РМГ-4 використовують саме відцентровий принцип розподілу мінеральних добрив. Конструктивно робочий орган найчастіше складається з горизонтально розміщеного диска, на верхній поверхні якого встановлено лопатки. У двохдискових машинах диски обертаються у протилежні сторони, завдяки чому утворюється широка смуга розсіву з перекриттям потоків від лівого і правого дисків.

У типовому виконанні діаметр розкидних дисків становить приблизно 0,35-0,75 м, а частота їх обертання перебуває в межах 400-600 об/хв. Лопатки зазвичай встановлюють з певним відхиленням у бік обертання, що покращує захоплення гранул і сприяє збільшенню дальності польоту. Проте у більшості серійних машин лопатки закріплені жорстко, тому їх неможливо швидко встановлювати під різними кутами під час налаштування агрегату на іншу ширину розкидання або інший вид добрив.

Ширина захвату відцентрового розкидача залежить від багатьох чинників: діаметра диска, частоти його обертання, довжини лопаток, кута їх установлення, місця подачі добрив на диск, висоти розміщення робочих органів над поверхнею ґрунту, а також від фізико-механічних властивостей матеріалу. До таких властивостей належать розмір і форма гранул, насипна густина, вологість, коефіцієнт тертя та здатність добрив до злежування.

Найпростішим способом зміни дальності розкидання є коригування частоти обертання диска. Але цей спосіб має обмеження, оскільки надмірне збільшення швидкості може спричинити руйнування гранул, підвищене запилення та нерівномірне розміщення добрив у смузі внесення. Діаметр диска, на відміну від частоти обертання, у процесі роботи залишається незмінним, тому конструкція з фіксованими лопатками не забезпечує достатньо гнучкого налаштування.

Недоліком існуючих робочих органів є також те, що регулювання ширини розсіву часто здійснюється не зміною геометрії диска, а зміщенням

зони подачі добрив на диск або зміною положення напрямних елементів. Такий підхід не завжди забезпечує потрібну рівномірність, особливо під час роботи з добривами різного гранулометричного складу. Тому виникає необхідність у розкидному пристрої, геометричні параметри якого можна змінювати без значного ускладнення конструкції.

Перспективним напрямом удосконалення є застосування дисків з рухомими лопатками та змінною ефективною довжиною лопатки. Такий робочий орган дає змогу змінювати радіус сходу частинки з диска, а отже, впливати на швидкість відриву гранули і дальність її польоту. Це дозволяє пристосувати розкидач до різних умов роботи, зменшити нерівномірність внесення та розширити діапазон технологічних налаштувань машини.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних типів розкидних робочих органів

Тип робочого органа	Конструктивні особливості	Основні переваги	Характерні обмеження
Тарілковий тукорозкидач	Добрива переміщуються по обертовій тарілці та висіваються через регульовану щілину.	Добре дозування при малих нормах внесення; проста зміна подачі матеріалу.	Обмежена ширина захвату; складність оперативної зміни смуги розсіву.
Однодисковий відцентровий апарат	Один диск із лопатками розкидає матеріал у сторони під дією відцентрових сил.	Проста конструкція; достатня продуктивність; невелика маса.	Складніше забезпечити симетричний розподіл добрив по ширині захвату.
Дводисковий відцентровий апарат	Два диски з лопатками формують потоки добрив з лівої та правої сторін агрегату.	Значна ширина розсіву; кращі умови перекриття суміжних смуг.	Ширина захвату обмежується фіксованою геометрією дисків і лопаток.
Диск з рухомими лопатками	Положення лопаток і ефективний радіус сходу частинок змінюються в процесі налаштування.	Розширений діапазон регулювання; підвищення рівномірності розподілу.	Потребує надійного механізму фіксації та періодичного технічного обслуговування.

3.2. Запропоноване удосконалення

Метою удосконалення розкидного пристрою є підвищення технологічної гнучкості машини МВУ-5 і забезпечення можливості регулювання ширини внесення мінеральних добрив за рахунок зміни параметрів самого робочого органа. Запропоноване рішення передбачає використання розкидного диска з рухомими лопатками, які можуть

змінювати своє положення відносно радіального напряму. На відміну від серійних дисків із жорстко закріпленими лопатками, така конструкція дає змогу впливати на кінематичні умови сходу частинок без заміни основних вузлів машини.

Суть удосконалення полягає у встановленні на диск двох лопаток, закріплених за допомогою гвинтових механізмів. Кожна лопатка має можливість повертатися в заданому діапазоні кутів, а після встановлення потрібного положення надійно фіксується. Для збільшення максимальної ширини розсіву на лопатках передбачено подовжувачі у вигляді вигнутих пластин. Вони збільшують ефективну довжину лопатки та змінюють умови сходу гранул із робочого органа.

Зміна кута встановлення лопатки від 0 до 90° дає змогу отримати два граничні режими роботи. У першому режимі лопатка розташована близько до радіального положення, а подовжувач висунутий максимально. У цьому випадку радіус сходу частинки найбільший, швидкість відриву зростає, а дальність польоту добрив збільшується. Такий режим доцільно застосовувати, коли потрібно отримати максимальну ширину захвату агрегату.

У другому граничному режимі лопатка повернута на 90° відносно радіального положення, а подовження не використовується. Радіус обертання крайньої точки лопатки зменшується, відповідно знижується швидкість відриву частинок і дальність їх польоту. Цей режим може застосовуватися під час роботи на менших ділянках, біля меж поля, у садах або там, де потрібно обмежити ширину розкидання.

Гвинтовий механізм регулювання має забезпечувати плавне переміщення та надійну фіксацію лопатки. Це важливо, оскільки під час роботи на лопатку діють відцентрові сили, сили тертя гранул, вібраційні навантаження та ударні дії окремих частинок добрив. Фіксація не повинна послаблюватися від вібрацій, а елементи механізму мають бути захищені від корозії та забруднення мінеральними добривами.

Запропонована конструкція не потребує принципової зміни схеми роботи розкидача МВУ-5. Модернізація виконується на рівні заміни або доопрацювання розкидних дисків, тому її можна впровадити без суттєвого ускладнення приводу, рами чи системи подачі добрив. Це є важливою перевагою, оскільки зменшує вартість модернізації та спрощує використання удосконаленого пристрою в умовах господарства.

Очікуваний результат від застосування дисків з рухомими лопатками полягає у збільшенні діапазону регулювання робочої ширини, поліпшенні перекриття між суміжними проходами агрегату та зменшенні зон надмірного або недостатнього внесення добрив. Крім того, механізатор отримує можливість швидше адаптувати машину до фактичних властивостей добрив, погодних умов і агротехнічних вимог конкретної операції.

Таблиця 3.2 – Орієнтовні режими налаштування удосконаленого диска

Положення лопатки	Подовження лопатки	Очікуваний технологічний ефект	Рекомендовані умови застосування
$\alpha \approx 0°$	Максимальне	Найбільший радіус сходу частинки, максимальна швидкість відриву і найбільша дальність розсіву.	Відкриті поля, потреба у широкій смузі внесення, робота на продуктивність.
$\alpha = 30\text{-}60°$	Середнє або часткове	Проміжна ширина розкидання, можливість уточнення перекриття суміжних проходів.	Типові польові умови, налаштування під конкретний вид добрив.
$\alpha \approx 90°$	Мінімальне або відсутнє	Зменшена дальність польоту частинок і обмежена ширина захвату.	Робота біля меж поля, у садах, на невеликих площах або за потреби локального внесення.

3.3. Обґрунтування параметрів запропонованого пристрою

3.3.1. Розрахунок основних конструктивних і кінематичних параметрів

Для оцінювання працездатності запропонованого розкидного диска необхідно визначити параметри, які безпосередньо впливають на дальність розкидання мінеральних добрив. До таких параметрів належать

максимальний і мінімальний радіуси обертання крайньої точки лопатки, кут її відхилення від радіального положення, величина подовження лопатки, а також швидкість відриву частинки від робочого органа.

На рис. 3.1 наведено розрахункову схему удосконаленого диска. Центр обертання диска позначено точкою О, точку шарнірного або регульованого закріплення лопатки – O_1, а крайню точку лопатки – А. Відстань $|OO_1|$ характеризує зміщення точки кріплення лопатки відносно центра диска, $|O_1A|$ - основну довжину лопатки, а ΔO_1A – додаткове подовження за рахунок вигнутої пластини.

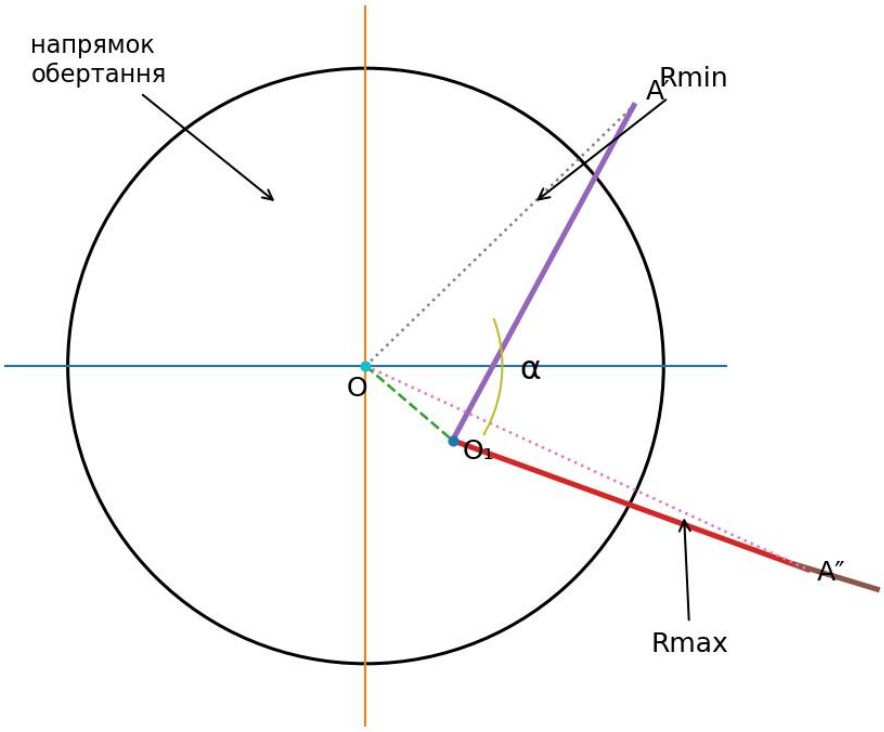


Рис. 3.1. Схема визначення конструктивних параметрів удосконаленого розкидного диска

Максимальний радіус обертання крайньої точки лопатки буде отримано тоді, коли лопатка встановлена у радіальному положенні, а подовжувач має найбільшу довжину. У цьому положенні відстані, що визначають радіус сходу частинки, додаються одна до одної. Тому для граничного випадку можна записати:

$$Rmax = |OO_1| + |O_1A| + \Delta O_1A, \qquad (3.1)$$

де $|OO_1|$ – відстань від центра обертання диска до точки кріплення лопатки, м; $|O_1A|$ – довжина лопатки від точки кріплення до крайньої точки, м; ΔO_1A – подовження лопатки за рахунок вигнутої пластини, м.

У загальному випадку радіус R є змінною величиною, оскільки він залежить від кута повороту лопатки α та від величини її подовження. Для визначення цього радіуса використаємо теорему косинусів для трикутника, утвореного відрізками $|OO_1|$, $|O_1A| + \Delta O_1A$ та шуканим радіусом R:

$$R = \sqrt{(|OO_1|^2 + (|O_1A| + \Delta O_1A)^2 - 2|OO_1|(|O_1A| + \Delta O_1A)\cos(180° - \alpha))}. \quad (3.2)$$

З формули видно, що збільшення довжини лопатки або зменшення кута її відхилення від радіального положення приводить до збільшення радіуса обертання крайньої точки. Відповідно зростає колова швидкість точки сходу частинки і збільшується дальність розкидання.

Для найбільшого радіуса приймаємо $\alpha = 0°$, $_{\Delta O1A} = \max$. Тоді:

$$R_{max} = 80 + 225 + 30 = 335 \text{ мм} = 0{,}335 \text{ м}. \quad (3.3)$$

Мінімальний радіус одержимо за максимального відхилення лопатки від радіального напряму, тобто при $\alpha = 90°$, та за відсутності подовження $\Delta O1A = 0$. У цьому випадку радіус визначається за виразом:

$$R_{min} = \sqrt{(|OO_1|^2 + |O_1A|^2)}, \quad (3.4)$$

$$R_{min} = \sqrt{(80^2 + 225^2)} = 238{,}8 \text{ мм} = 0{,}239 \text{ м}.$$

Після визначення граничних радіусів можна перейти до розрахунку швидкості відриву частинки. Для цього приймаємо робочу кутову швидкість диска $\omega = 55$ с$^{-1}$. Колова швидкість крайньої точки лопатки визначається як добуток кутової швидкості на відповідний радіус:

$$V_{max} = \omega \cdot R_{max} = 55 \cdot 0{,}335 = 18{,}42 \text{ м/с}, \quad (3.5)$$

$$V_{min} = \omega \cdot R_{min} = 55 \cdot 0{,}239 = 13{,}15 \text{ м/с}. \quad (3.6)$$

Отже, у запропонованій конструкції зміна положення лопатки дає змогу змінювати швидкість сходу частинок приблизно від 13,15 до 18,42 м/с. Це підтверджує, що регульована геометрія робочого органа є ефективним способом впливу на ширину розсіву без заміни диска.

Таблиця 3.3 – Результати визначення радіуса і швидкості сходу частинок

Параметр	Позначення	Значення	Вплив на роботу розкидача
Максимальний радіус обертання	R_{max}	0,335 м	Забезпечує найбільшу швидкість сходу і найбільшу дальність польоту частинок.
Мінімальний радіус обертання	R_{min}	0,239 м	Використовується для зменшення ширини розкидання.
Максимальна швидкість відриву	V_{max}	18,42 м/с	Відповідає режиму максимальної ширини захвату.
Мінімальна швидкість відриву	V_{min}	13,15 м/с	Відповідає режиму обмеженої ширини захвату.

3.3.2. Розрахунок дальності польоту частинки

Після сходу з лопатки частинка мінерального добрива рухається в повітрі як тіло, кинуте під кутом до горизонту. Оскільки на кінці лопатки встановлена вигнута пластина, траєкторія польоту має не лише горизонтальну, а й вертикальну складову. Це сприяє збільшенню часу перебування частинки в повітрі та, відповідно, дальності її переміщення по осі X.

Розрахункову схему польоту наведено на рис. 3.2. Початкова швидкість V розкладається на горизонтальну складову Vx і вертикальну складову Vy. У найвищій точці траєкторії A вертикальна складова швидкості дорівнює нулю, після чого частинка переходить у стадію вільного падіння і досягає поверхні ґрунту в точці B.

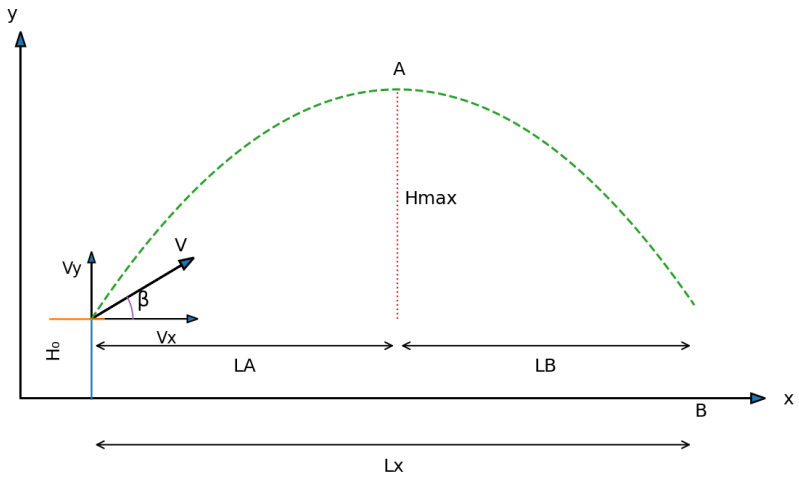


Рис. 3.2. Схема визначення дальності польоту частинки мінерального добрива.

Дальність польоту Lx можна розглядати як суму двох ділянок: відстані LA, яку частинка проходить до досягнення максимальної висоти, та відстані LB, яку вона проходить під час падіння з цієї висоти до поверхні ґрунту. Для цих ділянок запишемо:

$$L_A = V_x \cdot t_A, \tag{3.7}$$

$$L_B = Vx \cdot t_B, \tag{3.8}$$

Час піднімання частинки до максимальної висоти визначається з умови $V_y = 0$. Для вертикальної складової швидкості маємо:

$$V_y = V_0 \cdot \sin\beta - g \cdot t_A. \tag{3.9}$$

Коли $V_y = 0$, час піднімання дорівнює:

$$t_A = (V_0 \cdot \sin\beta) / g. \tag{3.10}$$

У розрахунку приймаємо кут підкидання частинки $\beta = 30°$. Це відповідає роботі вигнутої пластини, яка спрямовує потік добрив під кутом до горизонту. Для граничних швидкостей отримаємо:

$$t_{Amax} = (18{,}42 \cdot \sin30°) / 9{,}8 = 0{,}94 \text{ с},$$

$$t_{Amin} = (13{,}15 \cdot \sin30°) / 9{,}8 = 0{,}67 \text{ с}.$$

Відстань, яку частинка проходить у горизонтальному напрямку до досягнення максимальної висоти, визначимо за формулами:

$$L_{Amax} = t_A max \cdot V_{max} \cdot \cos\beta, \tag{3.11}$$

$$L_{Amax} = 0{,}94 \cdot 18{,}42 \cdot \cos30° = 15{,}00 \text{ м},$$

$$L_{Amin} = t_{Amin} \cdot V_{min} \cdot \cos\beta, \tag{3.12}$$

$$L_{Amin} = 0{,}67 \cdot 13{,}15 \cdot \cos30° = 7{,}63 \text{ м}.$$

Максимальна висота піднімання частинки залежить від вертикальної складової початкової швидкості. Для максимального і мінімального режимів вона становить:

$$H_{max} = (V_{max}^2 \cdot \sin^2\beta) / (2g), \tag{3.13}$$

$$H_{max} = (18{,}42^2 \cdot \sin^2 30°) / (2 \cdot 9{,}8) = 4{,}33 \text{ м},$$

$$H_{min} = (Vmin^2 \cdot \sin^2\beta) / (2g), \tag{3.14}$$

$$H_{min} = (13{,}15^2 \cdot \sin^2 30°) / (2 \cdot 9{,}8) = 2{,}20 \text{ м}.$$

З урахуванням висоти встановлення розкидних дисків над поверхнею ґрунту H = 0,7 м визначаємо час падіння частинки з верхньої точки траєкторії:

$$t_{max} = \sqrt{(2(H + H_{max}) / g)}, \quad (3.15)$$

$$t_{max} = \sqrt{(2(0,7 + 4,33) / 9,8)} = 1,01 \text{ с},$$

$$t_{min} = \sqrt{(2(H + H_{min}) / g)}, \quad (3.16)$$

$$t_{min} = \sqrt{(2(0,7 + 2,20) / 9,8)} = 0,77 \text{ с}.$$

Остаточну дальність польоту частинки визначаємо як суму шляху до найвищої точки і шляху під час падіння:

$$L_{max} = L_{Amax} + V_{max} \cdot \cos\beta \cdot t_{max}, \quad (3.17)$$

$$L_{max} = 15,00 + 18,42 \cdot \cos30° \cdot 1,01 = 31,16 \text{ м},$$

$$L_{min} = L_{Amin} + V_{min} \cdot \cos\beta \cdot tmin, \quad (3.18)$$

$$L_{min} = 7,63 + 13,15 \cdot \cos30° \cdot 0,77 = 16,39 \text{ м}.$$

Теоретично отримана дальність польоту частинок змінюється приблизно від 16,39 до 31,16 м. У реальних умовах ця дальність буде дещо меншою через опір повітря, зіткнення гранул між собою, нерівномірність подачі на диск, дію вітру та відмінності фізичних властивостей добрив. Тому для практичного використання доцільно прийняти робочу ширину захвату у межах від 15 до 30 м із забезпеченням перекриття суміжних проходів агрегату.

Таким чином, розрахунок підтверджує можливість регулювання ширини розсіву за рахунок зміни кута встановлення лопаток. При положенні, близькому до радіального, забезпечується максимальна ширина захвату. При повороті лопаток до 90° робоча ширина зменшується, що розширює технологічні можливості машини.

Таблиця 3.4 – Розрахункові параметри польоту частинки

Показник	Максимальний режим	Мінімальний режим	Пояснення
Швидкість відриву частинки	18,42 м/с	13,15 м/с	Визначається радіусом сходу частинки з лопатки.
Час піднімання до точки A	0,94 с	0,67 с	Залежить від вертикальної складової швидкості.
Шлях до максимальної висоти LA	15,00 м	7,63 м	Визначає першу частину горизонтального переміщення.
Висота піднімання частинки	4,33 м	2,20 м	Впливає на час падіння та сумарну дальність.
Час падіння з точки A	1,01 с	0,77 с	Враховує висоту диска над ґрунтом.
Теоретична дальність польоту	31,16 м	16,39 м	У практичних умовах коригується з урахуванням опору повітря та перекриття.
Прийнята робоча ширина	30 м	15 м	Використовується для технологічного налаштування розкидача.

3.3.3. Розрахунок шпонкового з’єднання

Надійність передавання крутного моменту від вала до розкидного диска залежить від міцності шпонкового з’єднання. У процесі роботи через шпонку передається момент, необхідний для обертання диска з лопатками та подолання опору руху добрив. Тому шпонку необхідно перевірити на зминання робочих граней і на зріз у найбільш навантаженому перерізі.

Розрахунок виконуємо для ділянки, де діаметр вала є найменшим. Приймаємо, що навантаження по робочій довжині шпонки розподіляється рівномірно. Розрахункова схема з’єднання показана на рис. 3.3. Робочі грані шпонки перевіряють на зминання, а переріз C-C - на зріз.

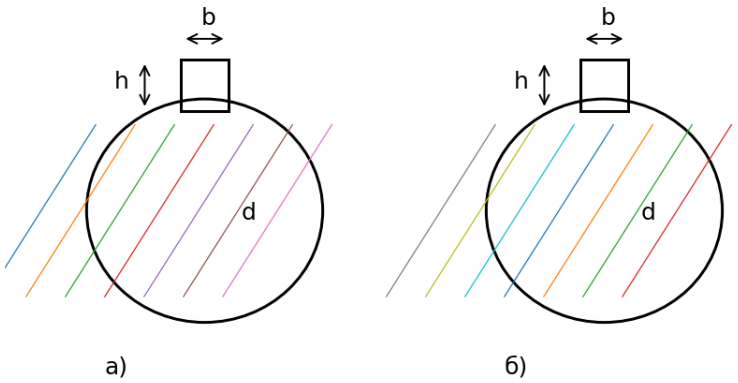


Рис. 3.3. Розрахункова схема шпонкового з’єднання

Вихідні дані для розрахунку: робоча довжина шпонки l = 30 мм; діаметр вала d = 20 мм; ширина шпонки b = 8 мм; висота шпонки h = 8 мм; виступ шпонки над пазом K = 3 мм; допустиме напруження на зминання $[\sigma_{зм}] = 1{,}5 \cdot 10^8$ Па; допустиме напруження на зріз $[\tau_{зр}] = 2{,}5 \cdot 10^8$ Па. Поверхня деталей має твердість не вище НВ 240.

Умова міцності на зминання має вигляд:

$$[M_{кр.max}] = 0{,}5 \cdot d \cdot K \cdot l \cdot [\sigma_{зм}]. \quad (3.19)$$

Підставляючи прийняті значення, отримаємо:

$$[M_{кр.max}] = 0{,}5 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}003 \cdot 0{,}03 \cdot 1{,}5 \cdot 10^8 = 135 \text{ Н·м}.$$

Умова міцності шпонки на зріз визначається за формулою:

$$[M_{кр.max}] = 0{,}5 \cdot (d + K) \cdot b \cdot l \cdot [\tau_{зр}]. \quad (3.20)$$

$$[M_{кр.max}] = 0{,}5 \cdot (0{,}02 + 0{,}003) \cdot 0{,}008 \cdot 0{,}03 \cdot 2{,}5 \cdot 10^8 = 690 \text{ Н·м}.$$

Фактичний крутний момент на валу визначаємо через потужність приводу розкидного диска:

$$N = M \cdot \omega, \quad (3.21)$$

$$M = N / \omega = 4000 / 55 = 72{,}7 \text{ Н·м}.$$

Порівняння показує, що допустимий момент за умовою зминання становить 135 Н·м, а за умовою зрізу - 690 Н·м. Обидва значення перевищують фактичний крутний момент 72,7 Н·м. Мінімальний запас за умовою зминання дорівнює приблизно 1,86, що є достатнім для прийнятих умов роботи. За умовою зрізу запас ще більший і становить близько 9,5.

Отже, шпонкове з’єднання забезпечує передавання необхідного крутного моменту на розкидний диск. Його міцність є достатньою для роботи удосконаленого пристрою, а найбільш небезпечною умовою є зминання робочих граней шпонки. Під час експлуатації необхідно контролювати щільність посадки, відсутність люфту та стан шпонкового паза, оскільки зношування цих елементів може призвести до ударних навантажень і зниження ресурсу вузла.

Таблиця 3.5 – Перевірка шпонкового з’єднання

Умова перевірки	Допустимий момент	Фактичний момент	Висновок
Зминання робочих граней шпонки	135 Н·м	72,7 Н·м	Умова виконується; запас міцності приблизно 1,86.
Зріз шпонки в перерізі С-С	690 Н·м	72,7 Н·м	Умова виконується; запас міцності приблизно 9,5.

3.4. Технологічні рекомендації щодо використання удосконаленого диска

Перед початком роботи модернізований розкидний диск необхідно оглянути, перевірити надійність кріплення лопаток, справність гвинтових механізмів і відсутність механічних пошкоджень подовжувачів. Особливу увагу слід звертати на стан різьбових з’єднань і фіксаторів, оскільки саме вони утримують лопатку в заданому положенні під час роботи.

Налаштування робочої ширини доцільно виконувати у такій послідовності. Спочатку визначають агротехнічну норму внесення і потрібну ширину захвату. Потім, залежно від виду добрив і умов поля, встановлюють кут повороту лопаток та величину подовження. Після цього виконують пробний прохід або стаціонарну перевірку розподілу добрив, за результатами якої уточнюють положення лопаток.

Для отримання максимальної ширини внесення лопатки встановлюють у положення, близьке до радіального, а подовжувачі використовують повністю. Такий режим забезпечує найбільшу швидкість сходу частинок.

Однак його доцільно застосовувати лише за сприятливих умов: за відсутності сильного вітру, на відкритих ділянках поля та при використанні добрив з достатньо міцними гранулами.

Якщо необхідно зменшити ширину розкидання, лопатки поступово повертають у напрямку до положення 90°. Це зменшує радіус сходу частинок і знижує їх швидкість відриву. Такий режим корисний під час роботи біля меж поля, поруч із лісосмугами, дорогами, водними об’єктами або на ділянках складної форми, де надмірне розсіювання добрив є небажаним.

Після кожної зміни положення лопаток потрібно контролювати симетричність налаштування лівого і правого дисків. Якщо лопатки встановлено неоднаково, потоки добрив можуть перекошуватися, що призведе до смуг із завищеною або заниженою нормою внесення. Тому регулювання слід виконувати за шкалою або мітками, нанесеними на механізм повороту.

Під час експлуатації слід враховувати властивості добрив. Для дрібних і легких гранул доцільно зменшувати швидкість сходу, оскільки вони сильніше відхиляються повітряним потоком. Для щільних і міцних гранул можна використовувати більший радіус сходу, що забезпечить ширшу смугу розсіву. Якщо добрива мають підвищену вологість або схильні до злежування, необхідно частіше очищати лопатки та контролювати рівномірність подачі.

Періодичне технічне обслуговування модернізованого диска включає очищення робочих поверхонь від залишків добрив, перевірку стану лопаток і подовжувачів, огляд шпонкового з’єднання, підтягування кріплення та змащування регулювальних елементів, якщо це передбачено конструкцією. Після завершення сезону вузол бажано промити, висушити та захистити від корозії.

Впровадження запропонованого пристрою не змінює загального порядку роботи з розкидачем МВУ-5, але розширює можливості його налаштування. Це дає змогу механізатору точніше підібрати режим внесення

і зменшити втрати добрив, які виникають через нерівномірний розподіл або вихід частинок за межі оброблюваної ділянки.

3.5. Очікуваний техніко-технологічний ефект від удосконалення

Головним техніко-технологічним результатом запропонованої модернізації є можливість регулювання ширини захвату розкидача за рахунок зміни геометричних параметрів розкидного диска. У серійній конструкції основним засобом впливу на ширину розсіву є зміна частоти обертання, положення подачі або напрямних елементів. Удосконалений диск доповнює ці способи регулювання зміною положення лопаток, що робить налаштування точнішим.

Розрахунки показали, що за прийнятих розмірів лопатки максимальний радіус сходу частинки становить 0,335 м, а мінімальний - 0,239 м. Це забезпечує зміну швидкості відриву від 13,15 до 18,42 м/с. Завдяки цьому теоретична дальність польоту частинок змінюється від 16,39 до 31,16 м, а практично прийнята робоча ширина може становити від 15 до 30 м.

Збільшення діапазону налаштування ширини захвату позитивно впливає на рівномірність внесення добрив. Механізатор може підібрати таке положення лопаток, за якого сусідні смуги внесення перекриватимуться без утворення значних надлишків або пропусків. Це особливо важливо під час внесення дорогих комплексних добрив, де навіть невеликі відхилення від норми можуть призводити до економічних втрат.

Додатковою перевагою є підвищення універсальності машини. Один розкидач може ефективніше працювати з добривами різної густини, гранулометричного складу та вологості. У разі зміни матеріалу достатньо уточнити положення лопаток і виконати контрольний прохід, не замінюючи робочі органи та не виконуючи складного переобладнання агрегату.

З конструктивної точки зору запропоноване рішення є відносно простим, оскільки не потребує зміни принципу дії машини. Основними додатковими елементами є рухомі лопатки, подовжувачі та механізми їх

фіксації. Перевірка шпонкового з’єднання підтвердила, що вузол приводу має достатній запас міцності для передавання необхідного крутного моменту.

Отже, удосконалений дисковий розкидний пристрій може бути рекомендований для застосування на розкидачах мінеральних добрив типу МВУ-5 з метою підвищення якості внесення, розширення діапазону робочої ширини та зменшення втрат добрив. Найбільший ефект очікується у господарствах, де машина використовується на полях різної конфігурації та з різними видами гранульованих мінеральних добрив.

Висновки по розділу

1. У розділі проаналізовано конструкції існуючих розкидних робочих органів для внесення мінеральних добрив. Встановлено, що серійні диски з жорстко закріпленими лопатками мають обмежені можливості регулювання ширини захвату, а зміна лише частоти обертання не завжди забезпечує потрібну рівномірність розподілу добрив.

2. Запропоновано удосконалити розкидний пристрій машини МВУ-5 шляхом встановлення дисків з рухомими лопатками і подовжувачами. Така конструкція дає змогу змінювати кут встановлення лопатки в межах від 0 до 90° і регулювати ефективний радіус сходу частинок з диска.

3. Розрахунками встановлено, що максимальний радіус обертання крайньої точки лопатки становить 0,335 м, а мінімальний - 0,239 м. При кутовій швидкості диска 55 $с^{-1}$ швидкість відриву частинок змінюється від 13,15 до 18,42 м/с.

4. Визначено теоретичну дальність польоту частинки мінерального добрива. За максимального режиму вона становить 31,16 м, а за мінімального - 16,39 м. З урахуванням опору повітря, властивостей добрив і необхідності перекриття суміжних проходів практична робоча ширина прийнята в межах 15-30 м.

5. Перевірка шпонкового з’єднання показала, що допустимий крутний момент за умовою зминання становить 135 Н·м, а за умовою зрізу – 690 Н·м.

Фактичний момент приводу дорівнює 72,7 Н·м, тому з’єднання має достатній запас міцності і може забезпечити надійну роботу розкидного диска.

6. Запропоноване удосконалення підвищує універсальність розкидача, полегшує налаштування робочої ширини, сприяє кращому перекриттю суміжних смуг і може забезпечити більш рівномірне внесення мінеральних добрив у різних умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення

Охорона праці під час вирощування озимої пшениці є обов'язковою складовою організації виробництва. Вона спрямована на запобігання травмуванню працівників, зменшення впливу шкідливих факторів і забезпечення стабільного виконання технологічних операцій. У процесі вирощування культури застосовують трактори, ґрунтообробні машини, сівалки, обприскувачі, розкидачі добрив, комбайни і транспортні засоби. Робота цих машин пов'язана з рухомими механізмами, підвищеним шумом, вібрацією, пилом, контактом з агрохімікатами, а також з ризиком наїзду, перекидання або травмування при технічному обслуговуванні.

У межах даної кваліфікаційної роботи детально розглядається технологічна операція внесення мінеральних добрив. Її передбачається виконувати агрегатом у складі трактора МТЗ-80 та удосконаленого розкидача МВУ-5. Модернізований розкидний пристрій забезпечує кращу рівномірність розподілу добрив, але водночас потребує підвищеної уваги до безпеки, оскільки робочі диски обертаються з великою швидкістю, а частинки добрив вилітають із зони машини на значну відстань. Тому під час роботи забороняється перебування людей позаду та збоку розкидача, а всі регулювання виконують лише після повної зупинки агрегату.

Нормативною основою організації безпечних умов праці є Закон України «Про охорону праці», Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, Закон України «Про пестициди і агрохімікати», санітарні правила щодо застосування агрохімікатів, а також інструкції з експлуатації трактора МТЗ-80 і розкидача МВУ-5. На підприємстві мають бути призначені відповідальні особи, розроблені інструкції за видами робіт, організовані інструктажі, медичні огляди та контроль технічного стану машин.

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

При внесенні мінеральних добрив основними небезпечними факторами є обертові частини приводу, карданний вал, розкидні диски з лопатками, рух трактора по полю, підвищена маса завантаженого бункера, пил добрив і можливість потрапляння гранул на відкриті частини тіла. Додатковими факторами є шум і вібрація в кабіні, втома оператора, робота в умовах обмеженої видимості, сильного вітру, слизького або нерівного ґрунту. Найбільш травмонебезпечними є очищення робочих органів, усунення забивань, перевірка лопаток, завантаження бункера та під'єднання агрегату до трактора.

Особливість удосконаленого МВУ-5 полягає в наявності робочих органів, які можуть регулювати ширину розкидання. Під час експлуатації потрібно контролювати надійність кріплення рухомих лопаток, подовжувачів і болтових з'єднань. Порушення фіксації може спричинити вібрацію, нерівномірне внесення добрив або пошкодження машини. Тому щозмінний огляд розкидача є обов'язковою умовою безпечної роботи.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Фактор небезпеки	Можливі наслідки	Профілактичні заходи
Обертові диски, ВВП, кардан	Травмування, захоплення одягу, удари частинками	Справні кожухи, заборона наближення до робочих органів, вимкнення ВВП перед оглядом.
Пил і гранули добрив	Подразнення очей, шкіри, органів дихання	Окуляри, рукавиці, респіратор, акуратне завантаження і прибирання розсипів.
Нерівне поле, повний бункер	Втрати стійкості, аварійні ситуації	Безпечна швидкість, рух без різких поворотів, завантаження в межах норми.
Несправні кріплення лопаток	Вібрація, поломка, нерівномірне внесення	Огляд дисків, перевірка болтів, фіксація регулювальних елементів.
Шум, вібрація, тривала робота	Втома, зниження уваги	Справність кабіни і сидіння, перерви, дотримання режиму праці.

4.3. Вимоги безпеки перед початком роботи

До роботи допускається тракторист-машиніст, який пройшов навчання, інструктаж з охорони праці, перевірку знань і має навички безпечної експлуатації трактора та причіпних машин. Працівник повинен користуватися справним спецодягом, закритим взуттям, рукавицями,

захисними окулярами та респіратором під час пилових операцій. Одяг має бути застебнутий, без звисаючих частин, які можуть бути захоплені рухомими деталями.

Перед виїздом у поле перевіряють справність трактора МТЗ-80: гальма, рульове керування, зчеплення, світлову сигналізацію, дзеркала, шини, паливну систему, вал відбору потужності та причіпний пристрій. Розкидач МВУ-5 оглядають щодо чистоти бункера, роботи дозувальних заслінок, надійності кріплення дисків, лопаток, подовжувачів і захисних огороджень. Забороняється працювати при тріщинах на дисках, деформації лопаток, відсутності кожухів, послабленні болтових з’єднань або сторонньому шумі під час пробного пуску.

Пробне ввімкнення приводу проводять без завантаження бункера і без сторонніх осіб у робочій зоні. Якщо під час перевірки виявлено биття дисків, підвищену вібрацію або нерівномірне обертання, агрегат до роботи не допускається. Регулювання кута встановлення лопаток і робочої ширини виконують на рівному майданчику після вимкнення двигуна, відключення ВВП і повної зупинки рухомих частин.

4.4. Безпека під час завантаження і внесення добрив

Мінеральні добрива повинні бути сухими, сипкими, без великих грудок і сторонніх предметів. Зберігати їх потрібно у закритій тарі або сухому провітрюваному приміщенні. Завантаження розкидача бажано виконувати механізовано. Трактор встановлюють на рівному майданчику, гальмують, ВВП вимикають. Працівникам забороняється перебувати під піднятим вантажем, між трактором і завантажувальною машиною, на рамі розкидача або всередині бункера. Ручне досипання допускається лише із застосуванням рукавиць, окулярів і респіратора.

Під час внесення добрив оператор підтримує швидкість, передбачену технологічною картою, і стежить за рівномірністю подачі. На поворотних смугах подачу добрив відключають, а після входу в наступний прохід

вмикають з урахуванням перекриття. При сильному боковому вітрі, тумані, зливі або недостатній видимості роботу слід припинити, оскільки погіршується рівномірність внесення і зростає ризик потрапляння пилу на працівників.

У разі забивання дозувальних отворів, появи стуку, вібрації або нерівномірного факела розкидання агрегат зупиняють, вимикають подачу добрив, ВВП і двигун. Очищення виконують тільки після повної зупинки дисків із використанням спеціального інструменту. Забороняється очищати лопатки, заслінки або бункер руками при працюючому двигуні, а також стояти в зоні можливого вильоту гранул.

4.5. Засоби індивідуального захисту і виробнича санітарія

При роботі з мінеральними добривами працівники повинні застосовувати спецодяг, головний убір, закрите взуття, рукавиці, захисні окуляри і протипиловий респіратор. Після закінчення зміни спецодяг очищають від пилу, руки та обличчя миють водою з милом, а за можливості приймають душ. Забороняється приймати їжу, пити або курити під час завантаження і внесення добрив. У польовій бригаді повинна бути аптечка, запас питної води та засоби зв’язку.

Робоче місце тракториста має бути чистим, із справним сидінням, вентиляцією кабіни, дзеркалами і приладами контролю. У кабіні не допускаються сторонні предмети, що заважають керуванню. Для запобігання перевтомі встановлюють регламентовані перерви, особливо під час тривалої роботи на великих площах. При потраплянні добрив в очі або на шкіру уражене місце промивають водою, а при погіршенні самопочуття працівника відсторонюють від роботи і звертаються по медичну допомогу.

4.6. Пожежна безпека та дії в аварійних ситуаціях

Трактор МТЗ-80 повинен бути укомплектований справним вогнегасником, аптечкою та первинними засобами пожежогасіння. Перед

роботою перевіряють відсутність підтікання пального і мастила, справність електропроводки та чистоту двигуна від рослинних решток і пилу. Забороняється заправляти трактор при працюючому двигуні, користуватися відкритим вогнем біля пального, мастильних матеріалів і добрив, а також залишати промаслені ганчірки в кабіні або біля нагрітих частин машини.

У разі аварійної ситуації оператор повинен зупинити агрегат, відключити ВВП, загальмувати трактор і повідомити відповідальну особу. При розсипанні добрив ділянку обмежують, матеріал збирають у тару або відводять у визначене місце, не допускаючи потрапляння значної кількості у водойми, канави чи на дороги. При травмуванні працівника негайно припиняють роботу, надають домедичну допомогу та викликають медичних працівників. До повторного запуску агрегат допускається тільки після усунення причин несправності.

4.7. Заходи з підвищення безпеки роботи агрегату

Для безпечної експлуатації удосконаленого МВУ-5 необхідно підтримувати справність огороджень карданної передачі, наносити попереджувальні написи на раму і бункер, регулярно перевіряти балансування дисків, стан лопаток, дозувальних заслінок і різьбових з’єднань. Перед початком зміни слід контролювати надійність агрегатування з трактором, а після закінчення роботи очищати бункер, диски і лопатки від залишків добрив. Усі роботи з регулювання та ремонту виконують на рівному майданчику із застосуванням справного інструменту.

Таблиця 4.2 – Заходи з підвищення безпеки роботи агрегату.

Етап роботи	Основні вимоги безпеки
Підготовка	Огляд трактора і розкидача, перевірка гальм, ВВП, кожухів, дозаторів, лопаток і кріплень.
Завантаження	Робота на рівному майданчику, заборона перебування під вантажем, використання ЗІЗ, недопущення перевантаження бункера.
Внесення добрив	Дотримання швидкості, відсутність людей у зоні розкидання, вимкнення подачі на поворотах, контроль факела розподілу.
Очищення та ремонт	Повна зупинка агрегату, вимкнення ВВП і двигуна, очищення тільки інструментом, перевірка перед повторним пуском.

Висновки до розділу

Отже, безпечне виконання операції внесення мінеральних добрив залежить від справності трактора МТЗ-80, технічного стану удосконаленого розкидача МВУ-5, підготовки оператора та дотримання правил роботи з агрохімікатами. Найбільш небезпечними є карданний привід, розкидні диски, зона вильоту гранул, завантаження бункера та очищення робочих органів. Виконання запропонованих заходів дає змогу зменшити виробничі ризики, забезпечити надійну роботу агрегату і створити безпечні умови праці при вирощуванні озимої пшениці в зоні Полісся Житомирської області.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

5.1. Мета та вихідні умови економічної оцінки

Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень виконується для визначення доцільності впровадження удосконаленого розкидача мінеральних добрив МВУ-5 у складі комплексу машин для виробництва озимої пшениці. У конструктивному розділі роботи передбачено модернізацію розкидного пристрою за рахунок використання дисків із регульованими лопатками. Таке рішення дає змогу змінювати робочу ширину захвату, поліпшувати рівномірність розподілу гранул по поверхні поля та зменшувати перевитрати добрив у зонах перекриття суміжних проходів агрегату.

Економічний ефект від запропонованого рішення формується за кількома напрямами: скорочення тривалості виконання операції внесення добрив, зменшення витрат пального і оплати праці на гектар, зниження непродуктивних втрат мінеральних добрив, а також поліпшення умов формування врожаю озимої пшениці завдяки більш рівномірному живленню рослин. Для умов господарства з площею посіву озимої пшениці 500 га розглядається робота агрегату МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5. Базовим варіантом прийнято використання серійного розкидача МВУ-5 без удосконаленого розкидного пристрою.

Розрахунки виконано за планово-розрахунковими показниками, які можуть уточнюватися відповідно до фактичних цін на пальне, оплату праці, добрива та матеріали на момент упровадження проекту. Прийняті вихідні дані наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Площа вирощування озимої пшениці	F	га	500
Базова робоча ширина серійного МВУ-5	$B_б$	м	12
Робоча ширина удосконаленого МВУ-5	$B_п$	м	18
Робоча швидкість агрегату	v	км/год	10
Коефіцієнт використання часу, базовий/проектний	η	–	0.75/0.78
Норма внесення мінеральних добрив	$Н_д$	кг/га	180
Розрахункова ціна добрив	$Ц_д$	грн/кг	18
Розрахункова ціна дизельного пального	$Ц_п$	грн/л	58
Оплата праці тракториста-машиніста	$З_г$	грн/год	140
Орієнтовні витрати на удосконалення розкидача	К	грн	30 000

5.2. Розрахунок продуктивності агрегату на внесенні добрив

Продуктивність агрегату під час суцільного внесення мінеральних добрив залежить від робочої ширини захвату, швидкості руху та коефіцієнта використання часу зміни. Для порівняння базового і проектного варіантів використано однакову робочу швидкість, оскільки трактор МТЗ-80 та розкидач МВУ-5 працюють у подібних тягових умовах. Основна різниця полягає у збільшенні ефективної ширини розкидання за рахунок удосконаленого робочого органу.

Годинну продуктивність визначаємо за формулою:

$$W = 0{,}1 \cdot B \cdot v \cdot \eta, \qquad (5.1)$$

де W – годинна продуктивність, га/год; B – робоча ширина захвату, м; v – робоча швидкість руху агрегату, км/год; η – коефіцієнт використання часу зміни. Тривалість виконання операції на заданій площі визначаємо за формулою T = F / W.

Таблиця 5.2 – Порівняння продуктивності базового та проектного агрегату

Варіант	B, м	v, км/год	W, га/год	T на 500 га, год
Базовий: МТЗ-80 + серійний МВУ-5	12	10	9,00	55,6
Проектний: МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5	18	10	14,04	35,6
Зміна показника	–	–	+56,0 %	–19,9

З наведених розрахунків видно, що застосування удосконаленого розкидного пристрою підвищує годинну продуктивність агрегату з 9,00 до 14,04 га/год, тобто приблизно на 56,0 %. За рахунок цього тривалість виконання операції внесення мінеральних добрив на площі 500 га скорочується на 19,9 год. Це має важливе значення для виробництва озимої пшениці, оскільки підживлення необхідно виконувати у стислі агротехнічні строки, особливо навесні, коли затримка з внесенням азотних добрив може знижувати ефективність їх використання рослинами.

5.3. Визначення експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати на виконання технологічної операції включають витрати на пальне, оплату праці тракториста-машиніста, технічне обслуговування, ремонт і амортизаційні відрахування по трактору та розкидачу. У проектному варіанті витрати на одну годину роботи дещо збільшуються через наявність додаткових елементів удосконаленого розкидного пристрою, однак загальна тривалість виконання операції зменшується, тому собівартість внесення добрив на гектар знижується.

Витрати на виконання операції визначаємо за формулою:

$$C = T \cdot (C_п + C_{зп} + C_{то}), \quad (5.1)$$

де C – загальні експлуатаційні витрати, грн; T – тривалість роботи агрегату, год; $C_п$ – витрати на пальне за годину роботи, грн/год; $C_{зп}$ – оплата праці, грн/год; $C_{то}$ – витрати на технічне обслуговування, ремонт та амортизацію, грн/год.

Таблиця 5.3 – Розрахунок експлуатаційних витрат на внесення мінеральних добрив.

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Одиниця	Економія
Витрата пального за годину	8,0	8,2	л/год	–
Витрата пального на всю площу	444,4	292,0	л	152,4
Витрати на пальне за годину	464	475,6	грн/год	–
Оплата праці	140	140	грн/год	–
ТО, ремонт і амортизація	250	260	грн/год	–
Сумарні витрати за годину	854,0	875,6	грн/год	–
Загальні витрати на 500 га	47 444	31 182	грн	16 262
Собівартість операції на 1 га	94,9	62,4	грн/га	32,5

Розрахунок показує, що лише за рахунок скорочення тривалості роботи агрегату експлуатаційні витрати на площу 500 га зменшуються орієнтовно на 16 262 грн, або на 32,5 грн/га. Додатково зменшується витрата дизельного пального на 152,4 л за сезонну операцію. Отже, модернізація забезпечує не тільки економію коштів, а й знижує завантаження тракторного агрегату в напружений період польових робіт.

5.4. Ефект від зменшення перевитрат добрив і підвищення якості внесення

Для внесення мінеральних добрив велике значення має рівномірність розподілу матеріалу по ширині захвату. За недостатньої рівномірності на полі утворюються ділянки з підвищеною або зниженою дозою добрив. На ділянках перекриття проходів виникає перевитрата добрив, а на ділянках недовнесення рослини відчувають дефіцит елементів живлення. Удосконалений розкидач МВУ-5 дає змогу точніше встановлювати робочу ширину та краще узгоджувати схему руху агрегату, що зменшує непродуктивні втрати.

Загальна маса добрив для площі 500 га за норми 180 кг/га становить:

$$Q_д = F \cdot Нд = 500 \cdot 180 = 90\,000 \text{ кг} = 90{,}0 \text{ т}.$$

У базовому варіанті умовні непродуктивні втрати через перекриття та нерівномірність приймаємо 5 %, у проектному – 3 %. Тоді зменшення перевитрат становить 2 % від загальної маси добрив, або 1 800 кг. За розрахункової ціни 18 грн/кг економія добрив становитиме 32 400 грн.

Таблиця 5.4 – Економія від зниження перевитрат мінеральних добрив

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Результат
Маса добрив на 500 га	90,0 т	90,0 т	–
Умовна частка перевитрат	5 %	3 %	–2 %
Маса заощаджених добрив	–	–	1,8 т
Вартість заощаджених добрив	–	–	32 400 грн

Крім прямої економії добрив, покращення рівномірності внесення позитивно впливає на продуктивність посівів озимої пшениці. Для обережної оцінки приймаємо можливе підвищення врожайності лише на 0,05 т/га. За площі 500 га це становить 25 т додаткового зерна. За умовної розрахункової ціни реалізації 6500 грн/т додатковий дохід може дорівнювати 162500 грн. Цей показник залежить від погодних умов, сорту, попередника, системи удобрення та загального рівня агротехніки, тому його доцільно розглядати як потенційний додатковий ефект, а не як єдину підставу для прийняття рішення.

5.5. Розрахунок витрат на удосконалення розкидача МВУ-5

Витрати на впровадження проектного рішення складаються з вартості матеріалів, виготовлення або доробки лопаток, встановлення подовжувачів, виготовлення елементів регулювання, слюсарно-зварювальних робіт, фарбування, монтажу та випробування агрегату. Оскільки модернізація виконується на базі наявного розкидача МВУ-5, немає потреби купувати нову машину, що суттєво знижує капітальні витрати.

Орієнтовна вартість удосконалення одного розкидача становить 30 000 грн. Ця сума є значно меншою порівняно з придбанням нового сучасного розкидача мінеральних добрив, тому проектне рішення є доступним для

господарств, які вже мають у машинно-тракторному парку розкидач МВУ-5 і трактори класу МТЗ-80.

Таблиця 5.5 – Орієнтовний кошторис витрат на удосконалення розкидного пристрою

Стаття витрат	Кількість/обсяг	Ціна, грн	Сума, грн
Метал для лопаток, подовжувачів і кронштейнів	комплект	7 500	7 500
Гвинтові механізми та елементи регулювання	комплект	4 200	4 200
Кріпильні вироби та витратні матеріали	комплект	1 600	1 600
Механічна обробка деталей	нормо-роботи	6 000	6 000
Слюсарно-зварювальні роботи	нормо-роботи	2 800	2 800
Фарбування та антикорозійний захист	комплект	1 300	1 300
Монтаж, регулювання і випробування	комплект	3 500	3 500
Непередбачені витрати	резерв	3 100	3 100
Разом	–	–	30 000

5.6. Узагальнення економічної ефективності проектного рішення

Річний економічний ефект визначаємо як суму економії експлуатаційних витрат і економії добрив за мінусом додаткових витрат на обслуговування удосконаленого механізму. Потенційний додатковий дохід від підвищення врожайності розглядаємо окремо, оскільки він залежить від конкретних виробничих умов.

Прямий річний економічний ефект:

$$E_{пр} = 16\,262 + 32\,400 - 3\,000 = 45\,662 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних витрат:

$$T_{ок} = К / E_{пр} = 30\,000 / 45\,662 = 0{,}66 \text{ року.}$$

Таблиця 5.6 – Основні техніко-економічні показники проектного рішення

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна
Продуктивність агрегату, га/год	9,00	14,04	+56,0 %
Тривалість внесення добрив на 500 га, год	55,6	35,6	–19,9
Витрати на операцію, грн/га	94,9	62,4	–32,5
Економія добрив, грн/га	–	–	64,8
Прямий річний ефект, грн	–	–	45 662
Орієнтовні капітальні витрати, грн	–	30 000	–
Строк окупності за прямим ефектом, року	–	–	0,66
Потенційний ефект з урахуванням приросту врожаю, грн	–	–	208 162

За результатами розрахунків прямий річний економічний ефект від застосування удосконаленого МВУ-5 на площі 500 га становить близько 45 662 грн. За капітальних витрат 30 000 грн строк окупності становить приблизно 0,66 року, тобто менше одного виробничого сезону. Якщо додатково врахувати можливий приріст урожайності внаслідок більш рівномірного внесення добрив, загальний економічний результат може бути істотно вищим.

Висновки по розділу

Проведене техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність удосконалення розкидача МВУ-5 для виконання технологічної операції внесення мінеральних добрив у виробництві озимої пшениці. Запропоноване конструктивне рішення не потребує придбання нової машини, може бути реалізоване на базі наявного розкидача та агрегатується з трактором МТЗ-80, що знижує потребу в додаткових капітальних вкладеннях.

Застосування удосконаленого розкидного пристрою підвищує продуктивність агрегату приблизно на 56,0 %, скорочує тривалість виконання операції на 19,9 год і зменшує собівартість внесення добрив на гектар. Додатково забезпечується економія мінеральних добрив завдяки зниженню перевитрат у зонах перекриття, а також створюються передумови для стабільнішого формування врожаю озимої пшениці.

Орієнтовні витрати на модернізацію становлять 30 000 грн, а прямий річний економічний ефект – близько 45 662 грн. Строк окупності проектного рішення становить близько 0,66 року, що свідчить про економічну ефективність і практичну доцільність упровадження удосконаленого розкидача МВУ-5 у технології вирощування озимої пшениці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему «Удосконалення комплексу машин для виробництва озимої пшениці з детальною розробкою технологічної операції внесення мінеральних добрив» розглянуто питання підвищення ефективності механізованого вирощування озимої пшениці в умовах зони Полісся Житомирської області. Основну увагу приділено вдосконаленню технологічного процесу внесення мінеральних добрив, оскільки ця операція має значний вплив на формування врожайності, рівномірність розвитку рослин, якість зерна та економічні результати виробництва.

У першому розділі було проаналізовано природно-кліматичні та ґрунтові умови Полісся Житомирської області, а також особливості технології вирощування озимої пшениці в цій зоні. Встановлено, що для отримання стабільних урожаїв важливе значення мають правильний вибір попередника, якісний основний і передпосівний обробіток ґрунту, своєчасна сівба, збалансоване удобрення та ефективний захист посівів від бур’янів, хвороб і шкідників. Особливістю ґрунтів Полісся є порівняно невисока природна родючість, тому система удобрення має бути одним із головних елементів технології вирощування озимої пшениці.

У другому розділі було спроєктовано технологію вирощування озимої пшениці для площі 500 га. Підібрано комплекс сучасних машин і знарядь для виконання основних технологічних операцій: обробітку ґрунту, внесення добрив, сівби, догляду за посівами, захисту рослин та збирання врожаю. Складена технологічна карта дозволяє раціонально організувати виробничий процес, визначити потребу в техніці, трудових ресурсах, паливі та строках виконання польових робіт. Окремо враховано, що внесення мінеральних добрив виконується агрегатом у складі трактора МТЗ-80 та удосконаленого розкидача МВУ-5.

У конструктивному розділі обґрунтовано доцільність удосконалення розкидача мінеральних добрив МВУ-5. Запропоноване вдосконалення

спрямоване на підвищення рівномірності розподілу добрив по поверхні поля, збільшення робочої ширини захвату та покращення якості виконання технологічної операції. Застосування рухомих або регульованих елементів розкидного пристрою дає змогу краще адаптувати машину до різних норм внесення, властивостей добрив і умов роботи. Це особливо важливо для вирощування озимої пшениці, оскільки нерівномірне внесення добрив призводить до неоднакового розвитку рослин, вилягання посівів або недобору врожаю.

У розділі з охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час роботи з мінеральними добривами та експлуатації агрегату МТЗ-80 + удосконалений МВУ-5. Запропоновано заходи щодо безпечного завантаження, транспортування та внесення добрив, використання засобів індивідуального захисту, дотримання вимог пожежної безпеки, технічного обслуговування агрегату та дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Дотримання цих вимог забезпечує безпечні умови праці механізатора та допоміжних працівників, а також зменшує ризик забруднення навколишнього середовища.

У п’ятому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень. Встановлено, що удосконалення розкидача МВУ-5 є економічно доцільним, оскільки дозволяє підвищити якість внесення мінеральних добрив, зменшити їх непродуктивні втрати, скоротити експлуатаційні витрати та покращити використання машинно-тракторного агрегату. Підвищення рівномірності розподілу добрив створює передумови для збільшення врожайності озимої пшениці та одержання додаткового прибутку з виробничої площі.

Отже, у роботі вирішено поставлені завдання: проаналізовано технологію вирощування озимої пшениці для умов Полісся Житомирської області, спроєктовано механізовану технологію виробництва культури на площі 500 га, підібрано комплекс машин, розроблено технологічну карту, обґрунтовано вдосконалення розкидача МВУ-5, розглянуто питання охорони

праці та визначено економічну ефективність проектних рішень. Запропоноване удосконалення може бути використане в господарствах, які вирощують озиму пшеницю та застосовують поверхневе внесення мінеральних добрив, з метою підвищення продуктивності, якості виконання робіт і загальної ефективності виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : навч. посіб. Львів : Українські технології, 2002. 800 с.

2. Borak K. V., Kulykivskyi V. L., Borovskyi V. M., Pylypovych M. M. Improving the reliability of tillage machines operational units. Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2024. Вип. 1 (55). С. 3–18.

3. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західного регіону України / редкол.: М. В. Зубець та ін. Київ : Урожай, 2004. 560 с.

4. Технологія вирощування насіння пшениці озимої : методичні рекомендації / за ред. А. А. Сіроштана, В. П. Кавунця. Центральне : Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, 2023. 37 с.

5. Агрокліматичний довідник по Житомирській області / за ред. Т. І. Адаменко. Київ : Державна гідрометеорологічна служба України, 2011. 192 с.

6. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії : підручник / за ред. В. П. Гудзя. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 408 с.

7. Заєць М. Л. Вплив ущільнюючої дії на ґрунт параметрів гусеничнго рушія Біоенергетичні системи: Матеріали IV міжнародної науково- практичної конференції «Біоенергетичні системи». Частина 2, Житомир: Поліський національний університет, 2020. с. 138-143.

8. Grift T. E. Analysis of particle trajectories on a spinning disc fertilizer spreader. Transactions of the ASABE. 2019. Vol. 62, no. 4. P. 945–953.

9. In-field monitoring and adaptive control of twin-disc fertilizer spreaders for winter wheat cultivation / K. Hou et al. Precision Agriculture. 2023. Vol. 24, no. 1. P. 204–222.

10. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2004. 552 с.

11. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2008. 543 с.

12. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу. Київ : НАУ, 2004. 85 с.

13. Chattha H. S., Sidique M. A. Modernization of disc fertilizer spreaders for uniform nutrient distribution in cereal crops. International Journal of Agronomy and Plant Production. 2022. Vol. 13, iss. 2. P. 89–97.

14. Precision fertilizer application with centrifugal spreaders: a review of developments in sensor systems and control algorithms / J. Anthonis et al. Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 152. P. 312–324 с.

15. Mishra P., Kar A. Discrete element method (DEM) modeling of fertilizer particle flow on a centrifugal spreader vane. Biosystems Engineering. 2021. Vol. 205. P. 12–25.

16. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

17. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.

18. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.

19. ДСТУ EN ISO 4254-1:2017. Сільськогосподарські машини. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

20. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні // Міністерство економіки України. URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f?lang=uk-UA&title=DerzhavniiRestrSortiv-PridatnikhDliaPoshirenniaVUkraini (дата звернення: 05.06.2026).

21. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12 (дата звернення: 05.06.2026).

22. Про пестициди і агрохімікати : Закон України від 02.03.1995 № 86/95-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/86/95-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 05.06.2026).

23. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18 (дата звернення: 05.06.2026).

24. Про затвердження Правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України : наказ Міністерства аграрної політики України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 04.12.2006 № 730/770 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0313-07 (дата звернення: 05.06.2026).

25. Про затвердження Правил технічної експлуатації тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів : наказ Міністерства аграрної політики України від 06.04.2010 № 173 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0509-10 (дата звернення: 05.06.2026).

26. Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві. Державні санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98 : Правила МОЗ України від 03.08.1998 № 1 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0001282-98 (дата звернення: 05.06.2026).

27. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

28. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. у