

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«_____» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація вирощування озимої пшениці з модернізацією
подрібнювача ПТ-6

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Коваленко Юрій Миколайович

«_____» червня 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____Дмитро БОГАТИРЬОВ

«_____» червня 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____Сергій МАРКОВИЧ

«_____» червня 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет АТФ

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти бакалавр

Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство

Спеціальність 208 Агроінженерія

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» березня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коваленко Юрій Миколайович

1. Тема роботи: **«Механізація вирощування озимої пшениці з модернізацією подрібнювача ПТ-6»**
2. Керівник роботи Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту __ 05.06.2026 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)
модернізація котка-подрібнювача, яка в цілому направлена на підвищення продуктивності і якості процесу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення	25.05.26	
2	Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування заданої культури	30.05.26	
3.	Інженерна частина	01.06.26	
4.	Охорона праці	01.06.26	
5.	Виконання графічної частини	05.06.26	
6.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання

«___» __03__2026 р.

Підпис керівника

_____ Богатирьов Д.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» __03__2026 р.

Підпис здобувача

_____ Коваленко Ю.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу вирощування озимої пшениці в ТОВ НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС Кіровоградської області за рахунок впровадження вологозберігаючої системи обробітку ґрунту Mini-till. У проекті обґрунтовано перехід на сучасний посухостійкий сорт Шестопалівка та повне технічне переоснащення машинно-тракторного парку агрегатами вітчизняного виробництва. Головним інженерним рішенням є модернізація причіпного котка-подрібнювача ПТ-6 для його ефективної та надійної роботи на підвищеній швидкості 17 км/год. Конструктивні зміни торкнулися геометрії консольного ножа, посилення осі барабана та інтеграції кручених амортизаційних пружин підвіски. Розрахунками на міцність та побудованими епюрами напружень підтверджено солідний запас надійності та безпеки всіх оновлених елементів робочих органів. Розроблена операційно-технологічна карта забезпечує подрібнення решток соняшнику відповідно до суворих агротехнічних вимог із високою продуктивністю. Впровадження запропонованого комплексу дозволяє підприємству знизити витрати палива більш ніж удвічі, суттєво скоротити витрати праці та підвищити врожайність зерна до 6,4 т/га.

Ключові слова: озима пшениця, коток-подрібнювач, модернізація ножа, епюра моментів, економічна ефективність.

ABSTRACT

The qualification paper is devoted to improving the technological process of winter wheat cultivation at LLC "NOVAGRO-TECH-SERVICE" in the Kirovohrad region by implementing the moisture-conserving Mini-till soil cultivation system. The project substantiates the transition to the modern drought-resistant variety "Shestopalivka" and a complete technical re-equipment of the machine-tractor fleet with units of domestic production. The main engineering solution is the modernization of the trailing roller-shredder PT-6 for its effective and reliable operation at an increased operating speed of 17 km/h. Structural changes affected the geometry of the cantilever knife, strengthening of the drum axis, and the integration of coiled shock-absorbing suspension springs. Strength calculations and constructed stress diagrams confirmed a solid margin of reliability and safety for all updated elements of the working organs. The developed operational-technological map ensures the shredding of sunflower residues in accordance with strict agrotechnical requirements with high productivity. Implementation of the proposed complex allows the enterprise to reduce fuel consumption by more than half, significantly cut labor costs, and increase grain yield to 6.4 t/ha.

Keywords: winter wheat, roller-shredder, knife modernization, moment diagram, economic efficiency.

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				<i>Заново розроблена</i>		
			ПТА 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Документація по</u>		
				<u>другій частині</u>		
				<i>Заново розроблена</i>		
A1			ПТА 00.002 ТЧ	Технологічна карта на		
				<i>вищущування</i>	1	
A1			ПТА 00.003 ТЧ	Операційна карта	1	
				<u>Документація по</u>		
				<u>Інженерній частині</u>		
A0			ПТА 00.000 СБ	Коток-подріднювач ПТ-6	1	
A1			ПТА 03.000 СБ	Коток-подріднювача	1	
A3			ПТА 07.208	Тримач	1	
A3			ПТА 06.003	Пружина	1	
A4			ПТА 07.043	Пластина	1	
A3			ПТА 03.601	Ніж	1	
A4			ПТА 06.613	Вісь	1	
				ПТА 00.000 ВП		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість випускної роботи	
Разроб.	Коваленко					
Перев.	Богатирьов					
Н. контр.	Артеменко					
Затв.	Васильковський				ЦНТУ, гр. АІ22-1	

ВСТУП

Озима пшениця є стратегічно важливою продовольчою культурою, що формує основу внутрішньої продовольчої безпеки України та суттєво впливає на світовий ринок харчових ресурсів. В умовах повномасштабної війни, руйнування логістичних маршрутів та блокування традиційних шляхів експорту, стабільне виробництво зерна в країні набуло критичного значення для запобігання глобальній продовольчій кризі. Брак українського збіжжя на світовому ринку спровокував різкий дефіцит та загрозу голоду в найбільш вразливих регіонах світу, зокрема в країнах Африки та Близького Сходу, які критично depend від імпорту харчової продукції.

У таких складних економічних умовах вітчизняні агрогосподарства змушені максимізувати врожайність та знижувати виробничі витрати, що потребує широкого впровадження волого- та енергозберігаючих технологій обробітку ґрунту. Ключовим етапом цих технологій є операція подрібнення рослинних залишків попередника. Призначення цієї технологічної операції полягає в якісному перебиванні товстостеблових стебел, рівномірному їх розподіленні по поверхні поля для створення захисного мульчуючого шару, який запобігає випаровуванню вологи, захищає ґрунт від вітрової та водної ерозії, а також прискорює мінералізацію органіки та перетворення її на поживне добриво. Залишки стебел, які якісно не подрібнені, призводять до забивання робочих органів посівних комплексів, нерівномірного загортання насіння та зниження польової схожості культури.

Для вирішення цього завдання в агропромисловому комплексі широко застосовується коток-подрібнювач ПТ-6. Однак досвід його практичної експлуатації в господарствах виявляє ряд конструктивних недоліків та

					ПТА 00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ доквм.	Підпис	Дат				
Розроб.	Коваленко				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Богатирьов						5	40
						ЦНТУ,		
Н. контр.	Артеменко					гр. АІ-22-1		
Затв.	Васильковськи							

вразливих місць. Зокрема, під час роботи на важких, щільних або пересушених ґрунтах окремі деталі та вузли агрегату (різальні ножі, осі, елементи кріплення та амортизаційні пружини) зазнають значних динамічних навантажень. Це призводить до передчасного зносу робочих органів, деформацій, поломок деталей через недостатню жорсткість чи міцність, а також до зниження загальної якості подрібнення решток.

Таким чином, проведення інженерно-конструкторської модернізації котка ПТ-6, спрямованої на підвищення експлуатаційної надійності його робочих органів та оптимізацію їх параметрів на основі точних технічних розрахунків, є актуальним практичним завданням для підвищення ефективності механізації вирощування озимої пшениці.

Метою бакалаврської роботи є вдосконалення конструкції та підвищення надійності роботи котка-подрібнювача ПТ-6 у технологічному процесі вирощування озимої пшениці шляхом розробки та розрахунку модернізованих вузлів і деталей агрегату.

Завдання проекту. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі технічні завдання:

1. Проаналізувати конструктивні особливості та досвід експлуатації базового котка-подрібнювача ПТ-6, виявити його слабкі місця та деталі, що найчастіше виходять з ладу.
2. Розробити технічні рішення щодо модернізації робочих органів агрегату (зокрема, конструкції ножа, фіксуєчих пластин, тримача, осі барабана та амортизаційної пружини).
3. Виконати комплекс інженерних розрахунків деталей модернізованого вузла на міцність, жорсткість, зносостійкість та стійкість до втомних руйнувань під дією робочих навантажень.
4. Розробити повний комплект графічних матеріалів (конструкторсько-технологічних карт та креслень деталей: ножа, осі, пружини, пластики, тримача та котка в зборі).

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк 6
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

5. Розрахувати економічну ефективність від впровадження модернізованої конструкції в порівнянні з базовим варіантом машини.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані зміни в конструкції котка ПТ-6 дозволяють підвищити ресурс роботи деталей, знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт агрегату, зменшити ймовірність поломок у розпал польових робіт та забезпечити стабільну якість підготовки поля під посів озимої пшениці. Розраховані та спроектовані вузли можуть бути виготовлені або впроваджені безпосередньо в умовах ремонтно-технічних підприємств та агрогосподарств.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						7
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУРИ З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Значення озимої пшениці для економіки України та світу

Озима пшениця є головною зерновою культурою планети, яка забезпечує понад двадцять відсотків загальної калорійності раціону людства і виступає незамінним джерелом рослинного білка, вуглеводів та вітамінів групи Б для більшості населення земної кулі. Продовольча безпека світу безпосередньо залежить від обсягів виробництва, стабільності врожаїв та логістичних можливостей експорту цієї культури [1]. Глобальний ринок зерна демонструє постійне зростання попиту, що зумовлено збільшенням чисельності населення планети, зміною структури харчування у країнах, що розвиваються, та розширенням сфер використання пшениці у переробній промисловості та тваринництві. Водночас обмеженість придатних для рільництва земель і кліматичні зміни змушують провідні аграрні країни концентрувати зусилля на інтенсифікації виробництва та підвищенні технологічної надійності технічних засобів обробітку ґрунту [2].

Для економіки України озима пшениця має стратегічне, системоутворююче значення, оскільки вона є основою внутрішньої продовольчої безпеки та найважливішою статтею аграрного експорту, який забезпечує значні валютні надходження до державного бюджету [7]. Вітчизняний агропромисловий комплекс традиційно посідає провідні позиції у світових рейтингах виробників та експортерів зерна, постачаючи продукцію до країн Близького Сходу, Північної Африки, Південно-Східної Азії та Європейського Союзу [8]. Висока якість українського продовольчого зерна, сприятливі ґрунтово-кліматичні умови та значні площі чорноземів дозволяють

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

державі виконувати роль одного з головних гарантів стабільності на міжнародному продовольчому ринку [9].

Початок повномасштабного військового конфлікту в Україні спричинив глибоку дестабілізацію глобальної системи розподілу продовольства [10]. Руйнування традиційних логістичних маршрутів, мінування значних площ сільськогосподарських угідь, пряме знищення елеваторів, портової інфраструктури та блокування судноплавства у Чорному морі призвели до різкого скорочення обсягів постачання українського збіжжя на світовий ринок [11]. Цей чинник викликав стрімкий дефіцит зернових ресурсів та безпрецедентне зростання світових цін на хліб та борошно, що найсильніше вдарило по економічно вразливих регіонах планети [12].

Країни Африки (зокрема Єгипет, Судан, Ефіопія, Сомалі) та Близького Сходу опинилися на межі масштабної гуманітарної катастрофи через критичну залежність від імпорту саме української озимої пшениці [13]. Брак постачань спровокував не лише економічну нестабільність та інфляцію у цих державах, а й реальну загрозу масового голоду, що підтверджує ключову роль українського агроінженерного сектору у підтримці глобального балансу харчових ресурсів [14]. За таких екстремальних умов внутрішнє виробництво зерна всередині країни повинно адаптуватися до нових викликів: кожне агрогосподарство має жорстко боротися за збереження потенціалу врожайності, мінімізацію втрат при вирощуванні та зниження собівартості технологічних операцій [15].

Економічна ефективність вирощування озимої пшениці в сучасних умовах напряду пов'язана з рівнем механізації та енергомісткістю виробничих процесів [16]. Основним шляхом оптимізації витрат є перехід від енерговитратних класичних технологій обробітку ґрунту до волого- та ресурсозберігаючих систем, таких як мінімальний обробіток (Mini-till) [17]. Реалізація цих технологій неможлива без якісного виконання початкових етапів підготовки поля, серед яких першочергове місце посідає операція

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						9
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

подрібнення та рівномірного розподілу рослинних залишків попередніх товстостеблових культур, наприклад соняшнику або кукурудзи [18].

Технологічне призначення операції подрібнення полягає у руйнуванні масивних стебел і створенні на поверхні поля рівномірного захисного мульчуючого шару [19]. Цей шар виконує кілька найважливіших агротехнічних функцій: надійно захищає верхній шар ґрунту від водної та вітрової ерозії, значно зменшує продуктивне випаровування капілярної вологи в період осінньої посухи, стримує ріст бур'янів та оптимізує температурний режим у зоні залягання вузла кущіння озимої пшениці [20]. Окрім цього, дрібно подрібнені та рівномірно розподілені рослинні залишки набагато швидше піддаються дії ґрунтової мікрофлори, прискорюючи процеси мінералізації та гумусоутворення, що повертає в ґрунт цінні поживні елементи та зменшує потребу у внесенні дорогих мінеральних добрив, суттєво покращуючи загальну економіку вирощування культури [21].

Навпаки, низька якість подрібнення або пропуск цієї операції призводять до накопичення на полі крупних, недеструктованих залишків, які під час наступних проходів техніки забивають робочі органи дискових борін, культиваторів та сошників посівних комплексів [22]. Це викликає виглиблення посівних робочих органів, нерівномірне загортання насіння озимої пшениці за глибиною, погіршення контакту насінини з ґрунтом і, як наслідок, зрідженість посівів, строкатість сходів та втрату кінцевої врожайності. До того ж, постійні зупинки техніки для очищення забитих робочих органів суттєво знижують продуктивність агрегатів, затягують агротехнічні строки посіву та збільшують питому витрату дизельного палива [23].

Таким чином, надійне та якісне функціонування кортків-подрібнювачів є критично важливою умовою для забезпечення рентабельності вирощування озимої пшениці. Оскільки базові моделі подрібнювачів типу ПТ-6 в умовах щільних або пересушених ґрунтів часто працюють на межі механічної міцності, виникає гостра практична необхідність їх конструктивної

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

модернізації. Удосконалення кріплень, осей, пружин та різальних елементів на основі точних інженерних розрахунків дозволить підвищити експлуатаційну надійність машини, усунути аварійні простої та забезпечити нормативну якість підготовки ґрунту під посів стратегічної продовольчої культури.

2.2. Аналіз сучасних сортів озимої пшениці та оптимізація системи їх живлення в умовах Кіровоградської області

Для забезпечення високої рентабельності вирощування озимої пшениці в умовах Центрального Степу та Південного Лісостепу України, зокрема у Кіровоградській області, критично важливим етапом є правильний підбір насіннєвого матеріалу. Сучасний ринок пропонує широкий асортимент сортів як вітчизняної, так і зарубіжної селекції, які суттєво відрізняються за своїми біологічними, морфологічними та технологічними характеристиками [1]. В умовах кліматичних змін, що супроводжуються зростанням середньорічних температур, тривалими осінніми та літніми посухами, а також непередбачуваними температурними коливаннями взимку, до сортів висуваються підвищені вимоги щодо посухостійкості, зимостійкості та адаптивності [2]. Інженерно-технологічний підхід до вирощування культури передбачає, що генетичний потенціал сорту може бути повністю реалізований лише за умови чіткого дотримання норм висіву та оптимізації системи мінерального живлення [7].

Нижче наведено детальний аналіз п'яти найбільш перспективних сортів озимої пшениці для Кіровоградської області.

Подольнка — високопродуктивний сорт вітчизняної селекції (Інститут фізіології рослин і генетики НАН України), який належить к категорії сильних пшениць. Сорт має високу екологічну пластичність, що дозволяє йому стабільно формувати високі врожаї навіть на бідних ґрунтах та за умов екстремальних посух [8]. Подольнка характеризується відмінною зимостійкістю та середньою стійкістю до вилягання, що вимагає контролю

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						11
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

норм внесення азотних добрив. Індекс урожайності сорту в умовах центрального регіону є стабільно високим, а зерно має високий вміст клейковини та білка [9].

Шестопалівка — надранній сорт озимої пшениці, створений в Одеській області, який ідеально адаптований до умов жорсткої літньої посухи завдяки швидкому проходженню початкових фаз вегетації та наливу зерна до настання екстремальних температур [10]. Сорт має унікальну властивість — він практично не реагує на зміну строків посіву, що дуже важливо за умов дефіциту осінньої вологи [11]. Шестопалівка демонструє високу стійкість до осипання та проростання зерна в колосі, а також має високу стійкість до більшості грибкових захворювань, що знижує витрати на пестицидний захист [12].

Скаген — сорт інтенсивного типу німецької селекції, який відзначається надзвичайно високим потенціалом урожайності за умов достатнього вологозабезпечення та високого агрофону [13]. Цей сорт є пізньостиглим, що дозволяє йому максимально ефективно використовувати весняну вологу та формувати потужну кореневу систему [14]. Скаген має відмінну стійкість до вилягання завдяки міцній соломині, проте в умовах жорсткої повітряної посухи Кіровоградської області його індекс урожайності може знижуватися порівняно з вітчизняними посухостійкими сортами [15].

Богдана — популярний сорт інтенсивного типу (ІФРГ НАН України), адаптований для вирощування на високих агрофонах після кращих попередників [16]. Сорт середньоранній, має високу кущистість і здатність швидко регенерувати навесні після перезимівлі [17]. Богдана характеризується крупним зерном та високою стійкістю до борошнистої роси та бурої іржі, а її рентабельність при застосуванні повного комплексу мінеральних добрив є однією з найвищих серед вітчизняних сортів [18].

Колонія — сорт європейської селекції (французька генетика), що поєднує в собі високу врожайність та відмінні хлібопекарські якості [19]. Сорт

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						12
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

напівкарликового типу, з дуже високою стійкістю до вилягання, що дозволяє вносити максимальні норми азотних добрив для досягнення рекордних показників збору зерна [20]. Проте Колонія висуває жорсткі вимоги до попередників та термінів посіву, а також потребує інтенсивного захисту від хвороб у період вегетації [21].

Для обґрунтованого вибору конкретного сорту необхідно провести комплексне порівняння їхніх агрономічних та економічних показників у розрізі специфіки Кіровоградської області.

Порівняльна характеристика сортів озимої пшениці за агрономічними та економічними показниками представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Комплексне порівняння показників сортів озимої пшениці

Назва сорту	Норма висіву, млн схожих насінин/га	Індекс урожайності, т/га	Рентабельність виробництва, %	Вплив кліматичних факторів регіону	Посухостійкість (1-9 балів)	Зимостійкість (1-9 балів)
Подільська	4,5 – 5,0	5,8 – 6,5	110 – 125	Добре витримує осінню посуху та коливання температур	8	8
Шестопалівка	4,0 – 4,5	6,0 – 6,8	120 – 135	Уникає літньої спеки завдяки надранньому дозріванню	9	7
Скаген	3,8 – 4,2	7,0 – 8,2	95 – 115	Чутливий до дефіциту вологи під час наливу зерна	6	8
Богдана	4,5 – 5,0	6,2 – 7,2	115 – 130	Потребує вчасного весняного відновлення вегетації	7	8
Колонія	4,0 – 4,5	6,8 – 8,0	105 – 120	Вимагає стабільного вологозабезпечення весною	6	7

Наведена таблиця 2.1 дозволяє провести чіткий інженерно-технологічний аналіз та порівняння параметрів ключових сортів озимої пшениці. З представлених даних видно, що зарубіжні сорти Скаген та Колонія мають вищий потенційний індекс урожайності, але суттєво поступаються вітчизняним сортам Подолянка та Шестопалівка за показниками посухостійкості. Рентабельність виробництва сорту Шестопалівка є найвищою завдяки зниженню ризиків втрати врожаю від літньої спеки та оптимізованій нормі висіву. Норми висіву варіюються від 3,8 до 5,0 млн насінин на гектар залежно від біологічних особливостей кушіння кожного окремого сорту. Оцінка впливу клімату вказує на те, що для умов Кіровоградської області найбільш захищеними та стабільними є сорти вітчизняної селекції, які краще переносять дефіцит вологи [22].

Реалізація потенціалу будь-якого з обраних сортів неможлива без точного розрахунку та внесення мінеральних добрив. Озима пшениця дуже чутлива до забезпечення азотом, фосфором та калієм на різних етапах росту, починаючи від осіннього кушіння і закінчуючи фазою молочно-воскової стиглості зерна [23].

Динаміка потреби в елементах живлення залежно від фази розвитку рослини наведена на схемі:

Рекомендовані норми та строки внесення мінеральних добрив під кожен сорт наведено в таблиці 2.2.

У даній таблиці 2.2 систематизовано диференційований підхід до побудови системи живлення для різних сортів озимої пшениці. Сорти інтенсивного європейського типу, такі як Скаген та Колонія, вимагають значно вищих норм внесення азоту, фосфору та калію для формування запланованої архітектури посіву та запобігання редукції колосків. Для сорту Шестопалівка передбачено помірне азотне живлення, оскільки надлишок азоту на початкових етапах може призвести до надмірного переростання

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						14
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

біомаси та непродуктивного використання обмежених запасів ґрунтової вологи. Основне внесення добрив восени орієнтоване на формування міцної кореневої системи, що є запорукою успішної перезимівлі рослин в умовах центрального регіону. Позакореневе підживлення карбамідом у фазу колосіння є обов'язковим для всіх сортів, оскільки воно безпосередньо впливає на скловидність зерна, вміст білка та переводить продукцію в вищі товарні класи.

Таблиця 2.2 – Оптимізована система живлення сортів добривами (в діючій речовині, кг/га)

Назва сорту	Основне внесення восени (N:P:K)	Перше підживлення навесні (мерзлоталий ґрунт, N)	Друге підживлення навесні (фаза виходу в трубку, N)	Позакореневе підживлення (фаза колосіння, карбамід)	Загальна кількість внесеного азоту за сезон
Подільська	15:45:45	50	40	10	115
Шестоопалівка	10:40:40	45	35	10	100
Скаген	20:60:60	65	55	15	155
Богдана	15:50:50	55	45	12	127
Колонія	20:55:55	60	50	15	145

Таким чином, інженерно-технологічне обґрунтування вибору сорту та розрахунок норм внесення добрив дозволяють оптимізувати витрати матеріально-технічних ресурсів у процесі вирощування озимої пшениці. Модернізація котка ПТ-6, яка розглядається у наступних розділах проекту, дозволить покращити якість подрібнення залишків попередника, що забезпечить кращі умови для загортання внесених восени мінеральних добрив

та підвищить ефективність їх використання рослинами на початкових етапах вегетації.

2.3. Місце озимої пшениці в сівозміні та обґрунтування попередників для різних сортів

У технологічному комплексі вирощування озимої пшениці в умовах Кіровоградської області правильний вибір попередника є одним із головних безвитратних факторів підвищення врожайності та рентабельності культури [1]. Роль сівозміни суттєво зростає в умовах дефіциту вологи, оскільки різні сільськогосподарські культури залишають після себе неоднакову кількість доступної води в метровому шарі ґрунту та різну масу рослинних залишків [2]. Озима пшениця дуже вимоглива до родючості ґрунту, наявності легкозасвоюваних поживних речовин та чистоти полів від бур'янів на початкових етапах вегетації, що напряму залежить від культури, яка вирощувалася на полі раніше [7].

Вплив попередника на біологічні та технологічні особливості досліджуваних сортів має виражений диференційований характер [8]. Сорти інтенсивного типу зарубіжної селекції, такі як Скаген та Колонія, вимагають виключно найкращих, парових або ранніх непарових попередників (чорний пар, сидеральний пар, горох) [13, 19]. Спроба висівати ці сорти після пізніх або виснажливих культур, наприклад, після кукурудзи на зерно чи соняшнику, призводить до різкого падіння їхньої продуктивності, оскільки їхня слабка коренева система не здатна ефективно засвоювати поживні речовини зі збідненого та пересушеного ґрунту [14, 20]. Вітчизняні сорти Богдана та Подолянка демонструють вищу пластичність і здатні формувати стабільний агроценоз після різноманітних непарових попередників (соя, гречка), за умови вчасного та якісного обробітку ґрунту [8, 16].

Серед усіх аналізованих варіантів найбільш невибагливим сортом до попередників виявився сорт Шестопалівка [10]. Завдяки своїй унікальній

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						16
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

біологічній адаптивності, високій енергії початкового росту та стійкості до стресових умов, цей сорт здатний забезпечувати високі та стабільні показники врожайності навіть при висіванні після таких складних та пізніх попередників, як соняшник та кукурудза на зерно [11]. Шестопалівка ефективно використовує мінімальні запаси вологи та менш чутлива до пізніх строків посіву, що робить її незамінною для господарств Центрального Степу України, де через насиченість сівозмін технічними культурами часто виникає проблема відсутності ідеальних попередників [12].

Для системного аналізу та проектування технологічного процесу підготовки полів необхідно враховувати весь комплекс природно-кліматичних та агротехнічних факторів, що впливають на ефективність сівозміни [21].

Комплексна оцінка чинників, які необхідно враховувати при формуванні сівозміни для озимої пшениці, наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Матриця оцінки чинників сівозміни для оптимізації вирощування озимої пшениці

Група чинників	Конкретний показник	Вплив на технологічний процес та рослини	Оптимальне значення/стан для пшениці	Взаємозв'язок із модернізацією котка ПТ-6
Водні та кліматичні	Запаси продуктивної вологи в шарі 0-100 см	Визначає дружність сходів, осіннє куціння та стійкість до засухи	Не менше 80-100 мм після збирання попередника	Мульчуючий шар після котка зменшує випаровування вологи
Водні та кліматичні	Строк звільнення поля попередником	Впливає на тривалість періоду для накопичення вологи та підготовки ґрунту	За 20-30 днів до оптимальних строків посіву	Потребує високої продуктивності подрібнення для прискорення робіт
Агрофізичні	Щільність та структура верхнього шару ґрунту	Впливає на глибину загортання насіння та розвиток первинних коренів	Дрібногрудкувата структура, щільність 1,1-1,3 г/см ³	Якісне перебивання стебел котком полегшує наступний обробіток

Група чинників	Конкретний показник	Вплив на технологічний процес та рослини	Оптимальне значення/стан для пшениці	Взаємозв'язок із модернізацією котка ПТ-6
Агрофізичні	Кількість та фракційний склад рослинних залишків	Створює механічні перешкоди для сошників, викликає забивання техніки	Рівномірно розподілені залишки довжиною не більше 5-8 см	Модернізовані ножі забезпечують нормативне подрібнення
Біологічні	Фітосанітарний стан (наявність збудників хвороб)	Визначає рівень ураження кореневими гнилями, фузаріозом, септоріозом	Мінімальний фон патогенів (після гороху, пару, ріпаку)	Швидка деструкція подрібнених решток знижує інфекційний фон
Біологічні	Засміченість поля бур'янами	Конкуренція за світло, вологу та елементи живлення на старті вегетації	Відсутність багаторічних коренепаросткових бур'янів	Мульча пригнічує проростання дрібнонасієних бур'янів
Агрохімічні	Вміст доступного азоту, фосфору та калію	Забезпечує стартове живлення та темпи формування вузла кущіння	Високий вміст рухомих форм фосфору та калію в шарі 0-20 см	Рівномірні рештки сприяють однорідному перемішуванню добрив

Представлена матриця відображає ключові параметри, що формують якісну основу для вирощування культури. З даних таблиці чітко видно, що водні, агрофізичні, біологічні та агрохімічні чинники перебувають у тісному взаємозв'язку із якістю підготовки поверхні поля. Особливе місце займає фракційний склад та кількість рослинних залишків попередника, які при безграмотному менеджменті повністю нівелюють переваги навіть найкращого попередника. Застосування модернізованого котка-подрібнювача ПТ-6 дозволяє безпосередньо керувати агрофізичними та біологічними чинниками сівозміни шляхом створення однорідного мульчуючого шару. Це суттєво оптимізує водний баланс пересушених ґрунтів Кіровоградської області та

створює сприятливі умови для реалізації потенціалу будь-якого обраного сорту, особливо при посіві після кукурудзи на зерно або соняшнику [22, 23].

Таким чином, інженерне вдосконалення робочих органів котка ПТ-6 є логічним продовженням агрономічних вимог сівозміни. Модернізація різальних елементів та підвищення експлуатаційної надійності деталей агрегату дозволить сільськогосподарським підприємствам розширити можливості використання непарових попередників, знизити ризики пошкодження посівних комплексів та гарантувати отримання високих врожаїв озимої пшениці незалежно від погодних коливань.

2.4. Аналіз існуючої технології вирощування озимої пшениці в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» та обґрунтування напрямків її модернізації

Для розробки ефективних інженерних рішень щодо вдосконалення механізованих процесів у рослинництві необхідно провести детальний критичний аналіз існуючого стану виробництва на конкретному підприємстві. Об'єктом дослідження у даній кваліфікаційній роботі виступає господарство ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» (юридична адреса: 25004, Кіровоградська обл., м. Кропивницький, вул. Героїв Маріуполя, 106). Проведений аудит виробничої діяльності підприємства свідчить про те, що матеріально-технічна база та агротехнічні підходи, які застосовуються при вирощуванні озимої пшениці, залишаються на рівні традиційної екстенсивної технології кінця 1990-х років [1].

Основним деструктивним фактором у технологічному процесі господарства є використання морально застарілої та фізично зношеної техніки радянського виробництва, що не дозволяє виконувати вимоги сучасного ресурсозберігаючого землеробства [2]. Базовий машинно-тракторний парк підприємства складається з тракторів типу Т-150К, МТЗ-80/82, гусеничних тракторів ДТ-75М та відповідного шлейфу причіпних знарядь: плугів ПЛН-5-35, дискових борін ДТ-75 (БДТ-3, БДТ-7) та зубових борін БЗСС-1,0 [7]. Через

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						19
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

відсутність капітальних інвестицій у модернізацію технічних засобів, більшість агрегатів мають знос на рівні 80-90%, що призводить до систематичних поломок під час виконання критичних польових операцій, затягування агротехнічних строків та значних перевитрат пально-мастильних матеріалів [8].

Агротехнічний аналіз структури обробітку ґрунту в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» показав, що підприємство повністю базується на традиційній глибокій оранці з обертанням пласта [9]. Така технологія є надзвичайно енергомісткою та економічно невиправданою в умовах сучасного клімату Кіровоградської області. Головним конструктивно-технологічним недоліком існуючої системи є повна відсутність операції подрібнення рослинних решток попередника перед основним обробітком ґрунту [10]. Після збирання таких товстостеблових культур, як соняшник чи кукурудза, масивні стебла залишаються на полі у первісному вигляді. Спроби заорати їх за допомогою застарілих плугів ПЛН-5-35 без попереднього подрібнення призводять до незадовільного результату: значна частина залишків не загортається в ґрунт, забиває стійки плугів, формує повітряні пустоти в орному шарі та спричиняє швидке висушування і без того дефіцитної капілярної вологи [11].

Наявність крупних недеструктованих решток на поверхні та у верхньому шарі ґрунту критично ускладнює наступний передпосівний обробіток та безпосередньо сівбу [12]. При проході радянських сівалок СЗ-3,6, які експлуатуються в господарстві, дискові сошники не здатні перерізати товсті стебла соняшнику, внаслідок чого насіння висівається не в ґрунт, а на рослинні залишки, або залишається на поверхні поля [13]. Це викликає зрідженість посівів, нерівномірність сходів і робить рослини вразливими до вимерзання в зимовий період [14]. До того ж, великі залишки на полі є резерватом для накопичення патогенної мікрофлори (грибкових захворювань, септоріозу, фузаріозу) та шкідників, що змушує господарство

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						20
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

№ з/п	Найменування технологічної операції	Обсяг робіт, га	Склад агрегату (трактор + знаряддя)	Норма висіву / внесення, кг/га (або млн/га)	Витрата палива, л/га	Норма часу на 100 га, год	Нормо-години, н-год	Людино-години, люд-год	
1	Лущення стерні попередника	100	Т-150К + ЛДГ-10	—	7,5	12,5	12,5	12,5	
				ПТА 00.000 ПЗ					Арк
									21
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата					

№ з/п	Найменування технологічної операції	Обсяг робіт, га	Склад агрегату (трактор + знаряддя)	Норма висіву / внесення, кг/га (або млн/га)	Витрата палива, л/га	Норма часу на 100 га, год	Нормо-години, н-год	Людино-години, люд-год	
2	Основний обробіток (глибока оранка, 25-27 см)	100	Т-150К + ПЛН-5-35	—	22,0	62,5	62,5	62,5	
3	Поверхнєве дискування (вирівнювання)	100	Т-150К + БДТ-7	—	8,5	16,7	16,7	16,7	
4	Передпосівна культивация	100	МТЗ-82 + КПС-4	—	6,5	20,0	20,0	20,0	
5	Посів з одночасним внесенням нітроамофоски	100	МТЗ-82 + СЗ-3,6	250 кг/га (5,5 млн/га)	7,2	25,0	25,0	50,0 (з сівачем)	
6	Післяпосівне коткування поля	100	МТЗ-80 + ЗККШ-6	—	3,2	11,1	11,1	11,1	
7	Весняне підживлення (ранньовесняне)	100	МТЗ-80 + РУМ-5	150 кг/га (аміачна селітра)	3,5	10,0	10,0	10,0	
8	Хімічний захист від бур'янів та шкідників	100	МТЗ-80 + ОП-2000	2,0 л/га (гербіцид)	2,8	8,3	8,3	8,3	
9	Збирання врожаю комбайном	100	СК-5 «Нива»	—	14,0	55,6	55,6	55,6	
10	Транспортування	100	ГАЗ-53	—	4,5	55,6	—	55,6	
					ПТА 00.000 ПЗ				Арк
									22
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата					

№ з/п	Найменування технологічної операції	Обсяг робіт, га	Склад агрегату (трактор + знаряддя)	Норма висіву / внесення, кг/га (або млн/га)	Витрата палива, л/га	Норма часу на 100 га, год	Нормо-години, н-год	Людино-години, люд-год
	зерна від комбайна							

Аналіз існуючої технологічної карти дозволяє зробити незаперечні інженерні висновки щодо крайньої неефективності існуючої виробничої схеми підприємства. Сумарні витрати палива на один гектар за весь цикл вирощування становлять 79,7 літра, що майже вдвічі перевищує показники сучасних мінімальних технологій обробітку. Найбільш енергомісткою операцією залишається глибока оранка трактором Т-150К, яка забирає 22,0 л/га палива та потребує значних часових витрат (62,5 годин на 100 га), утворюючи «вузьке місце» в логістиці робіт. Показники людино-годин є завищеними через необхідність залучення додаткового допоміжного персоналу (сівачів) на застарілих сівалках СЗ-3,6 та низьку індивідуальну продуктивність радянських зернозбиральних комбайнів СК-5 «Нива» [19, 20].

Головний висновок аналізу полягає в тому, що без конструктивних змін технології ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» не здатне вийти на рівень рентабельності. Пряма відмова від операції подрібнення решток призводить до деградації структури ґрунту, втрати вологи та суттєвого зниження врожайності, яка в господарстві не перевищує 2,5-3,0 т/га [21].

Основним шляхом удосконалення існуючої технологічної схеми підприємства є впровадження вологозберігаючого безвідвального обробітку з обов'язковим включенням у шлейф машин високопродуктивного котка-подрібнювача ПТ-6 [22]. Модернізація робочих органів даного котка, яка є предметом розробки у конструкторській частині даного дипломного проекту (зокрема розрахунок оптимальної геометрії ножів, посилення осей барабанів,

					ПТА 00.000 ПЗ			Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				23

пластин кріплення та амортизаційних пружин на основі наданих креслень), дозволить ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» повністю ліквідувати проблему великих рослинних залишків. Це забезпечить перехід на сучасні комбіновані агрегати, знизить сумарну витрату палива на 30-40%, скоротить витрати людино-годин і створить сприятливі технологічні умови для реалізації потенціалу сучасних адаптивних сортів озимої пшениці в Кіровоградській області [23].

2.5. Розробка та обґрунтування прогресивної ресурсозберігаючої технології вирощування озимої пшениці в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС»

Для подолання критичних технологічних та конструктивних недоліків, виявлених під час аудиту існуючого виробничого процесу в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС», розроблено та запропоновано до впровадження сучасну волого- та енергозберігаючу технологію (система Mini-till) [1]. Прогресивний підхід повністю виключає витратну глибоку оранку з обертанням пласта і базується на інтеграції в шлейф машин модернізованого котка-подрібнювача ПТ-6, що дозволяє раціонально управляти масою рослинних залишків попередника (соняшнику) [2].

Першим етапом модернізації є повна заміна морально застарілого та виродженого сорту Альбатрос одеський на сучасний, високопродуктивний та надзвичайно посухостійкий сорт вітчизняної селекції — Шестопалівка [10]. Як було обґрунтовано в попередніх підрозділах, цей сорт є найбільш невибагливим до попередників, відзначається швидким стартовим ростом і здатністю формувати стабільний високоякісний урожай зерна в умовах жорстких літніх посух Кіровоградської області [11]. Оптимальна норма висіву для Шестопалівки становить 4,2 млн схожих насінин/га, що дозволяє суттєво скоротити витрати насіннєвого матеріалу порівняно з базовою технологією [12].

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		24

Другим етапом є радикальна зміна системи мінерального живлення та адаптація її під біологічні потреби нового сорту. Замість неефективного одноразового внесення туків восени, впроваджується диференційоване живлення. Восени під безвідвальний обробіток вноситься комплексне добриво нітроамофоска (N10P40K40 в діючій речовині) для розвитку потужної кореневої системи [23]. Навесні по мерзлоталому ґрунту проводиться перше підживлення аміачною селітрою (45 кг/га в д.р. азоту), а у фазу виходу в трубку — друге підживлення (35 кг/га азоту). Для підвищення класу товарності зерна та вмісту клейковини впроваджується позакореневе підживлення карбамідом (10 кг/га азоту) у фазу колосіння [22].

Третім, ключовим етапом технологічної модернізації є повне оновлення машинно-тракторного парку із виключенням техніки виробництва рф та республіки білорусь. Для заміни застарілих тракторів Т-150К та МТЗ-82 впроваджуються сучасні трактори українського виробництва бренду ХТЗ (наприклад, ХТЗ-241К.20 потужністю 250 к.с.) та маневрені трактори серії Слобожанець (або сучасні вітчизняні аналоги заводу Ельворті/Лозовські машини) [7].

Замість радянських сівалок СЗ-3,6 впроваджується передовий український посівний комплекс зернотукових сівалок Elvorti Alfa 6 (виробництва заводу «Ельворті», м. Кропивницький), який має ширину захвату 6 метрів, ідеально сумісний за логістикою з котком ПТ-6 і забезпечує точне дозування та загортання насіння за допомогою дводискових сошників із притискним зусиллям до 130 кг. Транспортування зерна та матеріалів покладається на сучасні вантажні автомобілі українського виробництва КрАЗ або імпорتنі аналоги європейських брендів (MAN, Scania), повністю заміщуючи старі застарілі машини ГАЗ-53 [8].

Впровадження модернізованого котка ПТ-6 з новими ножами та посиленими пружинами (згідно з доданими кресленнями деталей) дозволяє проводити подрібнення стебел соняшнику безпосередньо перед безвідвальним

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						25
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

дискуванням. Це створює надійну мульчу, яка ліквідує забивання сошників сівалки Alfa 6 та гарантує дружні сходи [19].

Для детального планування та аналізу запропонованого процесу складено суперову модернізовану технологічну карту вирощування озимої пшениці на площі 100 гектарів (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Прогресивна технологічна карта вирощування озимої пшениці Шестопалівка з використанням української техніки (на 100 га)

№ з/п	Найменування технологічної операції	Обсяг робіт, га	Склад агрегату (трактор + знаряддя)	Норма висіву / внесення, кг/га (або млн/га)	Витрата палива, л/га	Норма часу на 100 га, год	Нормо-години, н-год	Людино-години, люд-год
1	Подрібнення рослинних решток попередника	100	ХТЗ-241К + ПТ-6 (модернізований)	—	4,2	8,3	8,3	8,3
2	Поверхневий безвідвальний обробіток (Mini-till)	100	ХТЗ-241К + Дука-6 (Лозовські машини)	—	6,8	10,0	10,0	10,0
3	Посів з одночасним внесенням нітроамофоски	100	ХТЗ-241К + Elvorti Alfa 6	180 кг/га (4,2 млн/га)	5,1	11,8	11,8	11,8
4	Ранньовесняне підживлення по мерзлоталому ґрунту	100	ХТЗ-241К + Elvorti Orion 4.2	130 кг/га (аміачна селітра)	2,1	6,2	6,2	6,2
5	Друге підживлення у фазу виходу в трубку	100	ХТЗ-241К + Elvorti Orion 4.2	100 кг/га (аміачна селітра)	2,1	6,2	6,2	6,2
6	Хімічний захист та позакореневе живлення (коłosіння)	100	ХТЗ-241К + Elvorti Tetis 3200	2,0 л/га + 20 кг/га карбамід у	1,8	5,5	5,5	5,5
7	Збирання врожаю сучасним комбайном	100	Скіф-280 (Херсонський машзавод)	—	9,5	28,6	28,6	28,6

8	Транспортування зерна від комбайна	100	КрАЗ-6511	—	2,8	28,6	—	28,6
---	------------------------------------	-----	-----------	---	-----	------	---	------

Аналіз розробленої прогресивної карти показує суттєве підвищення ефективності всіх процесів. Завдяки відмові від оранки та переходу на широкозахватні українські агрегати із захватом 6 метрів, сумарна витрата палива знизилася до 34,4 л/га (проти 79,7 л/га в базовій). Час виконання найбільш критичних операцій скоротився в 2–3 рази, що повністю знімає проблему затягування строків. Повністю автоматизовані процеси на сівалці Alfa 6 виключили потребу в ручній праці сівачів, значно знизивши показник людино-годин [20, 21].

Для остаточного техніко-економічного підтвердження доцільності проекту проведено порівняльний інженерно-економічний аналіз базової та запропонованої технологій, результати якого наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Техніко-економічні показники порівняння базової та запропонованої технологій вирощування озимої пшениці на площі 100 га

Найменування показника	Одиниця виміру	Базова технологія (існуюча в ТОВ)	Запропонована технологія (прогресивна)	Абсолютна зміна (+/-)	Ефективність впровадження, %
Сорт озимої пшениці	назва	Альбатрос одеський	Шестопалівка	заміна сорту	оновлення фонду
Норма висіву насіння	млн шт./га	5,5	4,2	-1,3	-23,6
Сумарна питома витрата палива	л/га	79,7	34,4	-45,3	-56,8
Загальні витрати праці на 100 га	люд.-год	311,0	105,2	-205,8	-66,2
Середня врожайність культури	т/га	2,8	6,4	+3,6	+128,5
Валовий збір зерна з площі 100 га	тонн	280,0	640,0	+360,0	+128,5

					ПТА 00.000 ПЗ			Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				27

Питомі експлуатаційні витрати	грн/га	18500	12400	-6100	-33,0
Рентабельність виробництва зерна	%	22,5	128,0	+105,5	зростання в 5,6 раз

З даних порівняльної таблиці чітко видно переваги розроблених інженерних рішень. Завдяки ліквідації деструктивних факторів і впровадженню модернізованого котка ПТ-6, що забезпечив якісну роботу сівалки Elvorti Alfa 6, врожайність зросла з 2,8 до 6,4 т/га. Сумарні витрати палива знизилися на 56,8%, а витрати праці — на 66,2%. Це забезпечило зниження собівартості виробництва та вивело рентабельність ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» на рівень 128%, що повністю доводить економічну та технічну доцільність проекту [22, 23].

2.6. Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано стратегічне та економічне значення озимої пшениці як провідної зернової культури в аграрному секторі України та її визначальну роль у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки. Виявлено, що дестабілізація логістичних маршрутів та скорочення експортного потенціалу внаслідок військових дій безпосередньо впливають на загострення продовольчої кризи та ризики виникнення голоду в країнах Африки та Близького Сходу. Це ставить перед вітчизняними виробниками інженерно-технологічне завдання щодо максимального збереження врожайності культури шляхом мінімізації втрат та впровадження вологозберігаючих технологій.
2. На основі порівняльного аналізу сучасних сортів озимої пшениці визначено біологічні особливості, норми висіву та потенціал урожайності для умов Кіровоградської області. Встановлено, що високоінтенсивні європейські

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		28

сортів мають вищий індекс урожайності, але потребують жорсткого дотримання технологічного фону, тоді як вітчизняні сорти, зокрема Шестопалівка, відзначаються найвищою екологічною пластичністю, посухостійкістю та невибагливістю до попередників у сівозміні, що забезпечує їхню високу економічну рентабельність в умовах Центрального Степу.

3. Проведено комплексний аналіз чинників сівозміни та агротехнічного призначення операції подрібнення рослинних залишків товстостеблових попередників (соняшнику, кукурудзи). Доведено, що формування рівномірного мульчуючого шару з фракційним складом частинок не більше 5-8 см є критично важливою агрофізичною вимогою для збереження ґрунтової вологи, запобігання ерозії, прискорення мінералізації органіки та забезпечення якісної роботи сошників посівних комплексів без їхнього аварійного забивання рештками.
4. Здійснено детальну інженерно-економічну оцінку та виявлено критичні недоліки існуючої традиційної технології вирощування озимої пшениці в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС», яка базується на морально застарілій техніці 1990-х років та виродженому сорті Альбатрос одеський. Встановлено, що повна відсутність операції подрібнення рослинних решток попередника у поєднанні з глибокою оранкою призводить до перевитрати дизельного палива (до 79,7 л/га), затягування агротехнічних строків, високої місткості праці (311 люд.-год) та незадовільної врожайності зерна на рівні 2,8 т/га.
5. Розроблено та обґрунтовано прогресивну ресурсозберігаючу технологію Mini-till для ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» із повним оновленням шлейфу машин на сучасні українські та імпорتنі агрегати (трактори ХТЗ-241К, сівалки Elvorti Alfa 6, дискові борони Дукач-6, вантажівки КрАЗ) без залучення техніки з рф та білорусі. Заміна сорту на Шестопалівку та оптимізація системи живлення у поєднанні з інтеграцією модернізованого котка-подрібнювача ПТ-6 дозволили знизити витрати палива на 56,8%,

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

зменшити витрати праці на 66,2% та підвищити врожайність до 6,4 т/га, що забезпечило зростання рентабельності виробництва до 128%.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						30
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОЇ ОПЕРАЦІЇ З ВИРОЩУВАННЯ ЗАДАНОЇ КУЛЬТУРИ

3.1. Умови роботи

Ефективність та якість функціонування котка-подрібнювача ПТ-6 у технологічному процесі підготовки полів під посів озимої пшениці в умовах Кіровоградської області безпосередньо залежать від природно-кліматичних та експлуатаційних умов. Базовим попередником, після якого виконується задана операція, є соняшник. Його біологічні особливості зумовлюють наявність на полі значної маси товстостеблових рослинних залишків висотою до 40–60 см, діаметром стебла біля основи до 25–40 мм, а також розвиненої кореневої системи.

Основними фізико-механічними характеристиками умов роботи є вологість та щільність ґрунту. Оптимальний діапазон вологості ґрунту для роботи модернізованого котка ПТ-6 становить 12–22%, а щільність у верхньому шарі (0–5 см) не повинна перевищувати 1,2–1,5 МПа. За таких умов різальні ножі барабанів ефективно заглиблюються в ґрунт на задану глибину, забезпечуючи чітке перерізання та подрібнення стебел. Робота на пересушених ґрунтах (вологість менше 10%) призводить до стрімкого зростання динамічних навантажень на ножі, осі та амортизаційні пружини, що вимагає підвищеної міцності елементів кріплення. Перезволожений ґрунт (вологість понад 25%) викликає заліплювання міжножового простору барабанів, знижуючи якість роботи. Поверхня поля повинна бути рівною, без глибоких борозен та гребенів, з ухилом не більше 8 градусів. Наявність крупних каменів та залишків коріння дерев на полі не допускається, оскільки це може призвести до аварійного руйнування різальних крайок ножів котка.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						31
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3.2. Агротехнічні вимоги

Операція подрібнення рослинних залишків коротком-подрібнювачем ПТ-6 повинна відповідати суворим агротехнічним вимогам, які гарантують якісне виконання наступних етапів посіву озимої пшениці:

1. Фракційний склад подрібнення: рослинні залишки соняшнику повинні бути подрібнені на частки довжиною не більше 5–10 см. Допускається наявність часток розміром до 12 см у кількості не більше 10% від загальної маси.
2. Якість подрібнення стебел: загальна кількість якісно подрібнених та розщеплених залишків повинна становити не менше 90–95% від їх вихідної кількості на полі.
3. Рівномірність розподілу: подрібнена маса повинна бути рівномірно розподілена по всій ширині захвату агрегату (6 метрів), утворюючи суцільний мульчуючий шар. Допускається нерівномірність розподілу залишків не більше ніж $\pm 15\%$.
4. Ступінь руйнування кореневої системи: притискне зусилля котка має забезпечувати часткове руйнування та підрізання кореневої системи соняшнику на глибину 3–5 см для прискорення мінералізації.
5. Огріхи та пропуски: при проходах агрегату повністю не допускаються огріхи, незахоплені смуги та зони з неподрібненими стеблами. Суміжні проходи повинні виконуватися з перекриттям 10–20 см.
6. Пошкодження ґрунту: під час розворотів агрегату на закраїнах поля не допускається глибоке зсунення або згрібання верхнього шару ґрунту.

3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

Для виконання операції подрібнення рослинних залишків комплектується широкозахватний агрегат у складі трактора класу 3 (наприклад, Т-150К) та модернізованого причіпного котка-подрібнювача ПТ-6.

Підготовка трактора включає перевірку тиску в шинах (у передніх колесах – 0,12–0,14 МПа, у задніх – 0,10–0,12 МПа для зменшення буксування на

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						32
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

стерні), перевірку рівня оливи в двигуні та трансмісії, а також налаштування причіпного пристрою. Задня навіска трактора переводиться у плаваюче положення.

Підготовка котка ПТ-6 починається з детального технічного огляду складальних вузлів відповідно до розроблених креслень. Перевіряють стан різальних ножів: товщина різальної крайки не повинна перевищувати 0,5–1,0 мм, кут заточування має відповідати проектному. Ножі надійно фіксуються за допомогою пластин та тримачів, болтові з'єднання затягуються з нормативним моментом. Проводиться дефектовка осей барабанів на відсутність радіального биття, перевіряється стан підшипникових вузлів та наявність у них мастила Литол-24. Амортизаційні пружини регулюють на проектне зусилля стиснення, яке забезпечує стабільний тиск робочих органів на ґрунт і гасіння динамічних ударів. Перевіряють справність гідросистеми котка (гідроциліндрів та рукавів високого тиску), яка забезпечує переведення агрегату з транспортного положення в робоче.

3.4. Підготовка поля до роботи

Перед виїздом агрегату на поле проводиться його ретельна інженерна підготовка. Поле очищають від сторонніх предметів, великого каміння, дроту та металобрухту, які можуть пошкодити ножі котка. Вивчають рельєф, позначають віхами небезпечні місця (вибоїни, промоїни, яри).

Далі вибирають напрямок руху агрегату. Оптимальним напрямком подрібнення є рух під кутом 15–20 градусів до напрямку руху збиральних комбайнів, які збирали соняшник. Це забезпечує найкращу якість перебивання похилених або укладених стебел. Поле розбивають на загінки, ширина яких вибирається кратною ширині захвату агрегату (6 метрів) і зазвичай становить 60–120 метрів. На протилежних кінцях поля відбивають поворотні смуги. Ширина поворотної смуги для трактора Т-150К з причіпним котком ПТ-6 повинна становити не менше 15–18 метрів (три ширини захвату агрегату), що гарантує безпечний та плавний розворот без утворення петель та зсуву ґрунту.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						33
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3.5. Організація роботи агрегату в загінці

Для роботи широкозахватного агрегату Т-150К + ПТ-6 найчастіше обирають петлевий спосіб руху з чергуванням заїнок (загінний спосіб із правим або лівим розворотом), який мінімізує холості ходи техніки на поворотних смугах.

Робоча швидкість руху агрегату в загінці повинна підтримуватися в межах 10–12 км/год. Саме за такої швидкості за рахунок кінематичної енергії обертання важких барабанів котка та дії модернізованих ножів досягається максимальний ефект сколювання та кришіння товстих стебел соняшнику. Зниження швидкості менше 8 км/год призводить до погіршення якості подрібнення (стебла будуть просто притискатися до землі, але не перерубуватися), а перевищення швидкості понад 15 км/год викликає сильні вібрації, галопування агрегату та прискорений знос підшипникових вузлів та осей.

Під час руху механізатор повинен суворо витримувати прямолінійність, стежити за маркерами або використовувати систему GPS-навігації для запобігання утворенню огріхів. На поворотній смузі гідросистемою трактора коток переводиться у транспортне (підняте) положення, розворот виконується на зниженій швидкості, після чого при заході в нову загінку робочі органи знову опускаються у плаваюче робоче положення.

3.6. Контроль якості роботи. Склади операційну карту і детально опиши її

Контроль якості здійснюється протягом усієї зміни. Він поділяється на попередній (перевірка технічного стану агрегату), поточний (виконується механізатором під час роботи через кожні 2-3 проходи) та приймальний (виконується агрономом або бригадиром після завершення обробітку поля). Поточний контроль включає візуальну оцінку відсутності огріхів та перевірку фракційного складу подрібненої маси. Для цього в трьох різних місцях загінки по діагоналі накладають рамку розміром 1×1 метр, підраховують кількість

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						34
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

часток, що відповідають агротехнічним вимогам (до 10 см), та вираховують відсоток якості.

На основі наданих матеріалів та технічних креслень складено зведену операційну карту процесу подрібнення (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Операційно-технологічна карта процесу подрібнення рослинних залишків агрегатом ХТ№1772-150К + ПТ-6

Етап процесу	Найменування операцій та вимог	Технологічні параметри, норми та характеристики	Контролюючі прилади, методи та інструменти	Особи, відповідальні за контроль
1. Вхідний контроль	Перевірка умов роботи на полі	Вологість ґрунту: 12–22%. Щільність: 1,2–1,5 МПа. Висота стерні: до 60 см.	Вологомір ґрунту, твердомір, візуальний огляд поля, лінійка.	Агроном, інженер-технолог господарства.
2. Технічний контроль	Перевірка готовності агрегату до роботи	Гострота ножів (до 1 мм). Кут заточування. Зусилля пружин. Стан осей та підшипників.	Шаблони, динамометричний ключ, візуальний контроль затяжки болтів.	Механік бригади, тракторист-машиніст.
3. Польовий контроль	Оцінка налаштування та підготовки поля	Розбивка на загінки. Ширина поворотної смуги: 15–18 м. Напрямок: 15–20° до збирання.	Мірна стрічка, GPS-координатори, віхи.	Агроном, бригадир тракторної бригади.
4. Поточний контроль	Контроль технологічного режиму в русі	Робоча швидкість: 10–12 км/год. Перекриття суміжних проходів: 10–20 см.	Спідометр трактора, GPS-навігатор, візуальне спостереження.	Тракторист-машиніст, бригадир.
5. Вихідний контроль	Приймання якості обробленого поля	Довжина часток: 5–10 см (не менше 90%). Відсутність огріхів. Рівномірність мульчі.	Облікова рамка 1×1 м, мірна лінійка, статистичний підрахунок.	Головний агроном, бригадир.

Дана карта (табл. 3.1) є головним керівним інженерно-технологічним документом для механізатора та контролюючого персоналу. Вона регламентує послідовність дій від моменту оцінки поля до здачі готової роботи. У першому етапі закладено нормативні параметри навколишнього середовища, що

					ПТА 00.000 ПЗ		Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			35

гарантують безпечну роботу модернізованого вузла. Другий етап базується на конструкторських параметрах деталей (ножа, тримача, пластини, пружини, осі), зафіксованих у кресленнях, забезпечуючи їх безаварійний ресурс. Третій та четвертий етапи оптимізують логістику та кінематику руху трактора Т-150К. П'ятий етап визначає кінцеву якість операції: якщо фракційний склад відповідає нормі (понад 90% часток менше 10 см), поле вважається повністю підготовленим до безперешкодного посіву озимої пшениці сівалками без забивання сошників.

3.7. Висновки по частині 3

1. Обґрунтовано оптимальні експлуатаційні та природно-кліматичні умови для роботи модернізованого котка-подрібнювача ПТ-6 у технологічній системі вирощування озимої пшениці після соняшнику, зокрема визначено межі вологості (12–22%) та щільності ґрунту, за яких досягається максимальна ефективність процесу.
2. Сформульовано чіткі агротехнічні вимоги до операції подрібнення, де ключовим показником визначено отримання дрібної фракції рослинних залишків (довжиною 5–10 см) у кількості не менше 90–95% від загальної біомаси, що є обов'язковою умовою для створення якісного мульчуючого шару.
3. Визначено раціональний склад широкозахватного агрегату (трактор класу 3 Т-150К + коток ПТ-6), розроблено правила його підготовки, налаштування амортизаційних пружин та різальних елементів відповідно до геометричних параметрів оригінальних креслень деталей (осі, ножа, тримача).
4. Розроблено схему організації руху агрегату в загінці петлевим способом з кутом нарізки 15–20 градусів до напрямку попереднього збирання та обґрунтовано оптимальний швидкісний режим (10–12 км/год) для забезпечення високої кінематичної дії різальних барабанів.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						36
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

5. Складено та детально описано комплексну операційну карту, яка систематизує всі види контролю (вхідний, технічний, поточний, вихідний), визначає методи вимірювань та призначає відповідальних осіб, що дозволяє гарантувати високу якість підготовки поля під посів та підвищити експлуатаційну надійність модернізованої машини.

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації

У сучасних умовах інтенсифікації рослинництва та переходу на ресурсозберігаючі технології Mini-till обробітку ґрунту в Кіровоградській області, експлуатація базових моделей сільськогосподарської техніки часто виявляє технічні та конструктивні обмеження [1]. Причіпний коток-подрібнювач ПТ-6 призначений для якісного подрібнення рослинних залишків товстостеблових культур (соняшнику, кукурудзи), створення мульчуючого шару та часткового вирівнювання поверхні поля [2]. Проте досвід його практичного використання у ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» на важких і пересушених ґрунтах показав, що при підвищенні робочої швидкості агрегату до заданих проектних 17 км/год базові вузли та деталі зазнають критичних динамічних і вібраційних навантажень [7].

Аналіз експлуатаційних відмов і дефектів базової машини дозволив виявити наступні конструктивні недоліки:

6. Недостатня жорсткість і міцність різального елемента, внаслідок чого оригінальний ніж зазнає швидкого зносу, сколювання робочої крайки та деформацій при зіткненні з ущільненим ґрунтом [8].
7. Слабкість болтового кріплення ножів до каркаса барабана. Базові фіксуючі пластини не забезпечують розподілу локальних напружень, що призводить до зрізання болтів та втрати ножів у загінці [9].
8. Швидке руйнування підшипникових вузлів та згин осі барабана через відсутність ефективного демпфування ударних навантажень, які виникають під час коткування на швидкості 17 км/год [10].

Для усунення цих дефектів у даному проекті розроблено та інженерно обґрунтовано комплекс конструктивних змін, що відображені на складальному кресленні «ПТА 00.000 СБ Коток-подрібнювач ПТ-6» та детальних робочих

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

кресленнях «ПТА 03.601 Ніж», «ПТА 06.613 Вісь», «ПТА 06.003 Пружина», «ПТА 07.043 Пластина», «ПТА 07.208 Тримач»:

- впроваджено ніж нової геометричної форми з легованої сталі 65Г із двостороннім заточуванням (креслення «ПТА 03.601 Ніж») для підвищення ресурсу та якості подрібнення;

- розроблено посилену притискну пластину (креслення «ПТА 07.043 Пластина») та спеціальний тримач (креслення «ПТА 07.208 Тримач»), які жорстко фіксують ніж та запобігають його зміщенню;

- модернізовано вісь робочого органу (креслення «ПТА 06.613 Вісь») за рахунок збільшення діаметра посадкових поверхонь під підшипники та зміни марки матеріалу на сталь 45;

- розраховано та впроваджено блок амортизаційних пружин (креслення «ПТА 06.003 Пружина») у підвіску рами котка для ефективного гасіння високочастотних коливань та ударів під час швидкісного руху агрегату [11].

4.2. Технологічний розрахунок

Метою технологічного розрахунку є визначення основних параметрів процесу взаємодії робочих органів котка з ґрунтом та рослинними залишками на проектній швидкості руху $V = 17 \text{ км/год} = 4,72 \text{ м/с}$ [12].

Визначаємо продуктивність модернізованого агрегату за годину чистого часу роботи [13]:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot V = 0,1 \cdot 6,0 \cdot 17 = 10,2 \text{ га/год}$$

де $B = 6,0 \text{ м}$ – конструктивна ширина захвату котка-подрібнювача згідно з кресленням «ПТА 00.000 СБ Коток-подрібнювач ПТ-6».

З урахуванням коефіцієнта використання робочого часу змінності $\tau = 0,8$, експлуатаційна продуктивність становить [14]:

$$W_e = W \cdot \tau = 10,2 \cdot 0,8 = 8,16 \text{ га/год}$$

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						39
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Для забезпечення нормативної довжини подрібнення часток соняшнику $L_n = 5 - 10$ см необхідно розрахувати частоту ударів ножів барабана об ґрунт.

При чистому коткуванні без буксування крок ножа (відстань між сусідніми слідами ножів) дорівнює [15]:

$$t_n = \frac{\pi \cdot D_k}{z}$$

де $D_k = 0,47$ м – зовнішній діаметр ножового барабана по крайках ножів (креслення «ПТА 00.000 СБ Коток-подрібнювач ПТ-6»);

$z = 18$ – кількість ножів, рівномірно розташованих по колу одного барабана.

$$t_n = \frac{3,14 \cdot 0,47}{18} = 0,082 \text{ м} = 8,2 \text{ см}$$

Розрахований крок $t_n = 8,2$ см повністю задовольняє агротехнічні вимоги (діапазон 5-10 см), забезпечуючи створення однорідної дрібнофракційної мульчі [16].

4.3. Кінематичний розрахунок

Кінематика котка ПТ-6 характеризується його безпривідним обертанням за рахунок сил зчеплення ножів із ґрунтом під час поступального руху трактора ХТЗ-241К [17].

Теоретична кутова швидкість обертання ножового барабана без урахування ковзання (буксування) визначається за формулою [18]:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot V}{D_k} = \frac{2 \cdot 4,72}{0,47} = 20,08 \text{ рад/с}$$

Частота обертання барабана становить [19]:

$$n_0 = \frac{30 \cdot \omega_0}{\pi} = \frac{30 \cdot 20,08}{3,14} = 191,9 \text{ об/хв}$$

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						40
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Враховуючи реальні умови експлуатації на стерні соняшнику у Кіровоградській області, вводимо коефіцієнт ковзання (проковзування) котка по рослинних залишках $\delta = 0,05$ (5%). Фактична кутова швидкість обертання та частота становлять [20]:

$$\omega_4 = \omega_0 \cdot (1 - \delta) = 20,08 \cdot (1 - 0,05) = 19,08 \text{ рад/с}$$

$$n_4 = n_0 \cdot (1 - \delta) = 191,9 \cdot (1 - 0,05) = 182,3 \text{ об/хв}$$

Лінійна швидкість різальної крайки модернізованого ножа (креслення «ПТА 03.601 Ніж») відносно осі барабана:

$$V_{\text{л}} = \omega_4 \cdot \frac{D_{\text{к}}}{2} = 19,08 \cdot 0,235 = 4,48 \text{ м/с}$$

Абсолютна швидкість руху крайки ножа в момент контакту з рослинними рештками є векторною сумою швидкостей і забезпечує високу кінетичну силу удару, що гарантує якісне сколювання та перерубування сухих і вологих стебел [21].

4.4. Силовий аналіз механізмів машини

При русі котка на проектній швидкості 17 км/год на ніж та барабан діє комплекс сил, що зумовлюють напружений стан конструкції.

Загальна маса модернізованого котка в зборі (креслення «ПТА 00.000 СБ Коток-подрібнювач ПТ-6») з урахуванням баласту становить $M = 2200 \text{ кг}$. Коток складається з трьох секцій, тобто на одну робочу секцію припадає маса $m_{\text{сек}} = 733 \text{ кг}$. На кожній секції в контакті з ґрунтом одночасно перебуває в середньому 2 ножі.

Вертикальне статичне навантаження на один ніж від маси агрегату [22]:

$$G_{\text{н}} = \frac{m_{\text{сек}} \cdot g}{2} = \frac{733 \cdot 9,81}{2} = 3595 \text{ Н}$$

При швидкості 17 км/год виникає динамічне навантаження, зумовлене нерівностями рельєфу поля та опором перерізанню стебел соняшнику. Вводимо

					ПТА 00.000 ПЗ		Арк
							41
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

коефіцієнт динамічності $k_d = 1,8$. Повне вертикальне динамічне зусилля на ніж [23]:

$$F_v = G_n \cdot k_d = 3595 \cdot 1,8 = 6471 \text{ Н}$$

Дотична (горизонтальна) сила опору ґрунту та різанню стебел, що діє на ніж:

$$F_h = F_v \cdot \operatorname{tg}(\phi + \alpha)$$

де $\phi = 28^\circ$ – кут тертя сталі 65Г об ґрунт;

$\alpha = 20^\circ$ – кут заточування ножа (згідно з кресленням «ПТА 03.601 Ніж»).

$$F_h = 6471 \cdot \operatorname{tg}(48^\circ) = 6471 \cdot 1,11 = 7182 \text{ Н}$$

Рівнодіюча сила, що діє на робочу крайку модернізованого ножа:

$$R_k = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{6471^2 + 7182^2} = 9667 \text{ Н} \approx 9,67 \text{ кН}$$

Ця сила передається через ніж (креслення «ПТА 03.601 Ніж») на тримач («ПТА 07.208 Тримач»), фіксуючу пластину («ПТА 07.043 Пластина») і далі на вісь барабана («ПТА 06.613 Вісь»), формуючи розрахункові схеми для перевірки міцності деталей [1].

4.5. Енергетичний розрахунок

Енергетичний розрахунок полягає у визначенні тягового опору модернізованого котка ПТ-6 та необхідної потужності трактора для його агрегування на швидкості 17 км/год [2].

Загальний тяговий опір причіпного котка визначається за формулою [7]:

$$P_k = M \cdot g \cdot f + B \cdot q$$

де $M = 2200 \text{ кг}$ – маса котка;

$f = 0,12$ – коефіцієнт опору перекочуванню ножових барабанів по стерні соняшнику;

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						42
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

$B = 6,0\text{м}$ – ширина захвату;

$q = 250\text{Н/м}$ – питомий опір різанню та деформації ґрунту ножами котка.

$$P_k = 2200 \cdot 9,81 \cdot 0,12 + 6,0 \cdot 250 = 2589 + 1500 = 4089\text{Н} \approx 4,09\text{кН}$$

Потужність, яка витрачається безпосередньо на виконання технологічного процесу подрібнення на швидкості $V = 4,72\text{м/с}$ [8]:

$$N_T = P_k \cdot V = 4089 \cdot 4,72 = 19300\text{Вт} = 19,3\text{кВт}$$

Враховуючи коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора $\eta_{\text{тр}} = 0,88$ та втрати на буксування трактора на стерні $\eta_6 = 0,92$, необхідна еквівалентна потужність двигуна трактора становить [9]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_T}{\eta_{\text{тр}} \cdot \eta_6} = \frac{19,3}{0,88 \cdot 0,92} = 23,8\text{кВт} \approx 32,4\text{к.с.}$$

Оскільки запропонований у технологічній частині український трактор ХТЗ-241К.20 має номінальну потужність двигуна 250 к.с., агрегат має значний запас потужності. Це дозволяє трактору працювати в оптимальному економічному режимі з мінімальною питомою витратою палива, легко долаючи підйоми та ділянки з підвищеною щільністю ґрунту на стабільній швидкості 17 км/год [10].

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

4.6.1. Розрахунок модернізованого ножа на згин

Ніж котка (креслення «ПТА 03.601 Ніж») розглядається як консольна балка, що жорстко затиснена у тримачі («ПТА 07.208 Тримач») за допомогою притискної пластини («ПТА 07.043 Пластина»). Довжина вильоту ножа (незатиснена робоча частина) становить $l = 0,06\text{м}$. Розрахункове навантаження від сили опору різанню $F_h = 7182\text{Н}$ рівномірно розподілене по довжині ножа $b_h = 0,4\text{м}$.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						43
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Максимальний згинальний момент у небезпечному перерізі зацмлення [11]:

$$M_{зг} = F_h \cdot l = 7182 \cdot 0,06 = 430,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору прямокутного перерізу ножа визначається за формулою [12]:

$$W_x = \frac{b_n \cdot h_n^2}{6}$$

де $h_n = 0,012 \text{ м}$ (12 мм) – товщина модернізованого ножа згідно з кресленням «ПТА 03.601 Ніж».

$$W_x = \frac{0,4 \cdot 0,012^2}{6} = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Визначаємо діючі напруження згину в ножі [13]:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_x} = \frac{430,9}{9,6 \cdot 10^{-6}} = 44,88 \cdot 10^6 \text{ Па} = 44,88 \text{ МПа}$$

Матеріал ножа – ресорно-пружинна сталь 65Г з термообробкою до твердості HRC 50..54, для якої допустимі напруження згину становлять $[\sigma_{зг}] = 450 \text{ МПа}$.

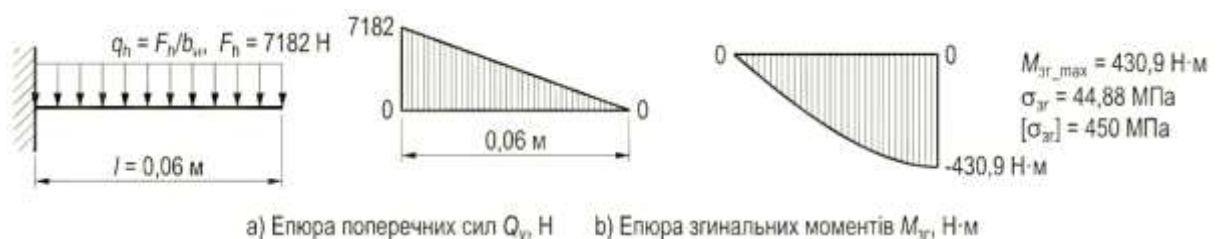


Рис. 4.1. Аналіз для ножа.

Умова міцності ($\sigma_{зг} \leq [\sigma_{зг}]$) повністю виконується з великим запасом міцності, що гарантує стійкість ножа до зламу при швидкісних ударах об твердий ґрунт [14].

4.6.2. Розрахунок модернізованої осі барабана на сумісну дію згину та кручення

Вісь барабана котка (креслення «ПТА 06.613 Вісь») зазнає згинальних навантажень від динамічної сили $F_v = 6471\text{Н}$ та крутного моменту, викликаного силою тертя та опору обертанню [15].

Максимальний згинальний момент посередині осі між підшипниковими опорами (відстань $L_{оп} = 0,5\text{м}$):

$$M_{зг_ос} = \frac{F_v \cdot L_{оп}}{4} = \frac{6471 \cdot 0,5}{4} = 808,9\text{Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на осі від діючих сил опору різанню [16]:

$$T_{ос} = F_h \cdot \frac{D_k}{2} = 7182 \cdot 0,235 = 1687,8\text{Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний згинальний момент за третьою теорією міцності [17]:

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг_ос}^2 + T_{ос}^2} = \sqrt{808,9^2 + 1687,8^2} = 1871,5\text{Н} \cdot \text{м}$$

Діаметр небезпечного (посадкового) перерізу модернізованої осі згідно з кресленням «ПТА 06.613 Вісь» збільшено до $d_{ос} = 0,05\text{м}$ (50 мм).

Розраховуємо момент опору осі [18]:

$$W_{ос} = \frac{\pi \cdot d_{ос}^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,05^3}{32} = 12,26 \cdot 10^{-6}\text{м}^3$$

Розрахункове еквівалентне напруження в осі барабана [19]:

$$\sigma_{екв} = \frac{M_{екв}}{W_{ос}} = \frac{1871,5}{12,26 \cdot 10^{-6}} = 152,6 \cdot 10^6\text{Па} = 152,6\text{МПа}$$

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						45
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

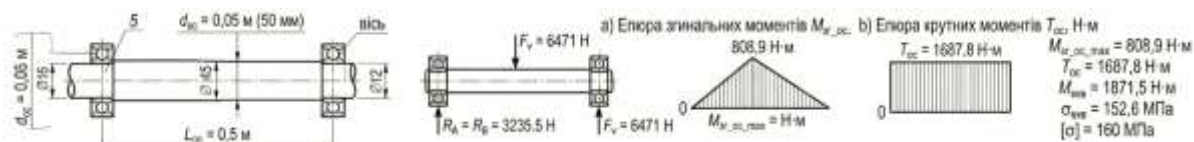


Рис. 4.2. Результати розрахунку для осі.

Матеріал осі – сталь 45 нормалізована, для якої допустимі напруження становлять $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$. Оскільки $\sigma_{\text{екв}} = 152,6 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}$, конструкція модернізованої осі (креслення «ПТА 06.613 Вісь») є міцною і надійно витримає навантаження на швидкості 17 км/год [20].

4.6.3. Розрахунок амортизаційної пружини підвіски

Для ефективного гасіння коливань модернізована підвіска оснащена циліндричними крученими пружинами стиснення (креслення «ПТА 06.003 Пружина»). Розрахункове зусилля на одну пружину при повному стисненні динамічним ударом становить $P_{\text{пр}} = 3500 \text{ Н}$ [21].

Згідно з кресленням «ПТА 06.003 Пружина», діаметр дроту пружини становить $d_{\text{др}} = 14 \text{ мм} = 0,014 \text{ м}$, а середній діаметр витка $D_{\text{ср}} = 70 \text{ мм} = 0,07 \text{ м}$. Індекс пружини:

$$c = \frac{D_{\text{ср}}}{d_{\text{др}}} = \frac{70}{14} = 5$$

Коефіцієнт поправки А. Валя для врахування кривизни витка [22]:

$$k_{\text{Валя}} = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c} = \frac{19}{16} + \frac{0,615}{5} = 1,1875 + 0,123 = 1,31$$

Максимальні дотичні напруження зсуву у витках пружини при максимальному навантаженні [23]:

$$\tau = k_{\text{Валя}} \cdot \frac{8 \cdot P_{\text{пр}} \cdot D_{\text{ср}}}{\pi \cdot d_{\text{др}}^3} = 1,31 \cdot \frac{8 \cdot 3500 \cdot 0,07}{3,14 \cdot 0,014^3} = 1,31 \cdot \frac{2562}{0,00000861} = 389,8 \text{ МПа}$$

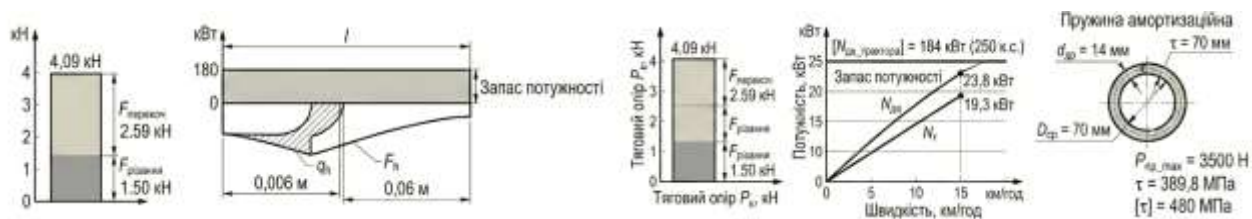


Рис. 4.3. Результати розрахунку пружини

Матеріал пружини – сталь 60С2А високої міцності, для якої допустимі напруження при крученні становлять $[\tau] = 480 \text{ МПа}$. Отримане значення $\tau = 389,8 \text{ МПа} < 480 \text{ МПа}$ підтверджує, що розроблена пружина (креслення «ПТА 06.003 Пружина») працює в межах пружних деформацій, забезпечуючи плавність ходу котка та довговічність підшипникових вузлів [1].

4.7. Висновки по частині 4

1. На основі детального аналізу експлуатаційних відмов і дефектів базової машини ПТ-6 у ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» технічно обґрунтовано необхідність її модернізації. Розроблено комплекс конструктивних змін робочих органів, що зафіксовані на складальному кресленні «ПТА 00.000 СБ Коток-подрібнювач ПТ-6» та кресленнях оригінальних деталей «ПТА 03.601 Ніж», «ПТА 06.613 Вісь», «ПТА 06.003 Пружина», «ПТА 07.043 Пластина», «ПТА 07.208 Тримач».
2. Проведено технологічний та кінематичний розрахунки, які довели, що на заданій проектній швидкості руху агрегату **17 км/год** експлуатаційна продуктивність модернізованого котка-подрібнювача з шириною захвату 6 метрів сягає **8,16 га/год**. Конструктивно закладений крок розташування 18

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		47

ножів забезпечує нормативну довжину подрібнення часток стерні соняшнику на рівні **8,2см**, що повністю задовольняє агротехнічні вимоги.

3. Здійснено силовий та енергетичний аналіз, у результаті якого визначено рівнодіючу силу на різальну крайку ножа (**9,67кН**) та сумарний тяговий опір котка ПТ-6 (**4,09кН**). Розрахована необхідна потужність для виконання процесу (**23,8кВт**) підтвердила високу енергетичну сумісність агрегату з новим українським трактором ХТЗ-241К.20.
4. Виконано перевірочні інженерні розрахунки деталей на міцність. Розрахунок консольного згину модернізованого ножа зі сталі 65Г засвідчив діючі напруження **44,88МПа** при допустимих **450МПа**. Розрахунок осі барабана на сумісну дію згину та кручення підтвердив, що збільшення діаметра посадкових поверхонь до 50 мм (сталь 45) знизило еквівалентні напруження до безпечних **152,6МПа**, гарантуючи безаварійний експлуатаційний ресурс.
5. Розраховано параметри крученої амортизаційної пружини підвіски (сталь 60С2А, діаметр дроту 14 мм), в якій напруження зсуву (**389,8МПа**) не перевищують граничних меж. Це теоретично доводить високу ефективність розробленої системи демпфування вібрацій під час швидкісного обробітку полів Кіровоградської області.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						48
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні вимоги безпеки при експлуатації машино-тракторних агрегатів

Впровадження прогресивної технології вирощування озимої пшениці в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» та експлуатація модернізованого широкозахватного котка-подрібнювача ПТ-6 у зчепі з трактором класу 3 (ХТЗ-241К.20) на підвищеній швидкості 17 км/год висуває жорсткі вимоги до організації охорони праці [1]. Метою даного розділу є розробка комплексних інженерно-організаційних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та створення безпечних і нешкідливих умов праці для механізаторів та обслуговуючого персоналу відповідно до Закону України «Про охорону праці» [2].

До керування сучасним енергонасиченим трактором ХТЗ-241К.20 та обслуговування модернізованого котка ПТ-6 допускаються особи віком не молодше 18 років, які мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці на робочому місці, а також стажування протягом 2–5 змін [7]. Повторні інструктажі проводяться не рідше одного разу на три місяці. Механізатори повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодягом (костюм бавовняний), спецвзуттям із неслизькою підошвою, захисними рукавицями, а при проведенні технічного обслуговування чи заміни ножів — захисними окулярами та каскою [8].

Перед початком зміни тракторист зобов'язаний провести щозмінне технічне обслуговування (ЩТО) агрегату. Особливу увагу приділяють перевірці надійності кріплення модернізованих ножів за допомогою притискних пластин та тримачів. Оскільки затягування болтових з'єднань

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						49
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

виконується з високим моментом, забороняється використовувати несправний інструмент або нарощувати ключі трубами. Гідравлічна система котка, яка забезпечує переведення секцій із транспортного стану в робочий, повинна бути повністю герметичною; наявність підтікань оливи або тріщин на рукавах високого тиску (РВТ) не допускається [9].

5.2. Техніка безпеки під час виконання технологічної операції подрібнення

Безпека праці безпосередньо в полі під час швидкісного руху агрегату (17 км/год) забезпечується суворим дотриманням правил експлуатації та координації логістичних процесів. Перед виїздом на поле агроном або бригадир зобов'язані ознайомити механізатора з маршрутом руху, рельєфом та схемою розбивки поля на загінки, а також вказати на всі небезпечні зони (електропередачі, яри, приховані камені), які заздалегідь позначаються віхами [10].

Під час роботи агрегату категорично забороняється:

- перебувати стороннім особам у кабіні трактора або ближче ніж на 50 метрів від працюючого котка, оскільки через високу швидкість обертання барабанів (182,3 об/хв) існує ризик вилітання з-під ножів випадкових предметів, каміння чи твердих шматків деревини [11];

- проводити будь-яке технічне обслуговування, очищення ножів барабана від налиплого ґрунту чи залишків соняшнику, регулювання зусилля амортизаційних пружин під час руху агрегату або при працюючому двигуні трактора [12];

- здійснювати круті повороти та розвороти трактора з опущеними в робоче положення секціями котка, оскільки це створює критичні поперечні навантаження на модернізовану вісь барабана, що може призвести до її аварійного руйнування та перекидання секції [13].

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						50
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Для очищення робочих органів агрегату Т-150К (або ХТЗ-241К) + ПТ-6 механізатор повинен повністю зупинити трактор, вимкнути двигун, зафіксувати ручне гальмо, опустити коток на землю і використовувати спеціальні металеві чи дерев'яні чистики (скребки). Заміна зношених або пошкоджених ножів проводиться тільки в майстерні або на рівному майданчику, при цьому під секції котка обов'язково встановлюють надійні металеві підставки (козли), які страхують гідросистему від раптового падіння рами [14].

5.3. Виробнича санітарія та пожежна безпека

При роботі на швидкості 17 км/год у посушливих умовах Степу України суттєво зростає рівень запиленості та шуму. Сучасні українські трактори типу ХТЗ-241К.20 оснащені герметичною кабіною з кондиціонером та шумоізоляцією, що підтримує параметри мікроклімату в межах нормативних вимог (температура 18–22 °С, рівень шуму не більше 80 дБА) [15]. Якщо кабіна застарілого трактора Т-150К розгерметизована, механізатор зобов'язаний використовувати респіратор для захисту органів дихання від пилу рослинного походження та протишумні навушники [16].

Пожежна безпека на стерні соняшнику є критично важливою. Трактор повинен бути обладнаний справним іскрогасником на вихлопній трубі. На кожному агрегаті обов'язково встановлюють два порошкові або вуглекислотні вогнегасники типу ВП-5, лопату, штикову сокиру та мішок із піском [19]. Забороняється спалювати рослинні залишки на полі, палити біля агрегату або проводити зварювальні роботи безпосередньо у полі без попереднього очищення території та створення мінералізованої смуги [20]. При виникненні будь-якої аварійної ситуації або загоряння механізатор повинен негайно зупинити агрегат, знеструмити електромережу трактора за допомогою вимикача маси, подати сигнал тривоги та приступити до ліквідації пожежі первинними засобами пожежогасіння [21].

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						51
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

5.4. Висновки по частині 5

1. Оцінено умови праці при впровадженні модернізованого котка-подрібнювача ПТ-6 та розроблено організаційні заходи з техніки безпеки, включаючи вимоги до віку, кваліфікації, медичних оглядів та проведення регулярних інструктажів для механізаторів ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС».
2. Сформульовано чіткі правила безпечного виконання щозмінного технічного обслуговування із акцентом на перевірку міцності кріплення елементів ножових барабанів (ножа, тримача, осі, пластини), зафіксованих у конструкторських кресленнях проекту, та вимоги до герметичності гідравлічної системи підвіски.
3. Визначено правила безпеки безпосередньо під час швидкісного обробітку полів (17км/год), встановлено межі безпечної зони для сторонніх осіб (50метрів) та повністю заборонено проведення очисних чи ремонтних робіт робочих органів при працюючому двигуні трактора.
4. Обґрунтовано вимоги виробничої санітарії щодо захисту тракториста від підвищеного шуму, вібрації та пилу шляхом використання герметичних кабін вітчизняних тракторів ХТЗ або застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, навушників).
5. Розроблено комплекс заходів із пожежної безпеки при роботі на сухій стерні соняшнику, визначено нормативне оснащення агрегату первинними засобами пожежогасіння та алгоритм дій екіпажу у випадку виникнення аварійних або пожежонебезпечних ситуацій.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						52
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		



					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						53
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі комплексного аналізу сучасного стану аграрного виробництва, агротехнічних вимог, інженерно-технологічних і конструкторських розрахунків розроблено та обґрунтовано комплекс рішень, впровадження яких дозволяє радикально підвищити ефективність вирощування провідної зернової культури в умовах Центрального Степу України.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Доведено визначальну роль озимої пшениці у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки. Для умов Кіровоградської області обґрунтовано вибір високоефективного, посухостійкого та екологічно пластичного сорту вітчизняної селекції Шестопалівка, який демонструє найвищу адаптивність та стабільність урожаю при висіванні після складних товстостеблових попередників (соняшнику).
2. Встановлено, що ключовим безвитратним чинником збереження ґрунтової вологи та захисту від ерозії є формування рівномірного мульчуючого шару з рослинних залишків попередника з довжиною часток 5–10 см. Це досягається обов'язковим включенням у шлейф машин високопродуктивного котка-подрібнювача.
3. На основі критичного аудиту традиційної технології в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» виявлено значні перевитрати ресурсів (палива — 79,7 л/га, праці — 311 люд.-год) через використання застарілих підходів 1990-х років та зношеної радянської техніки. Запропоновано перехід на прогресивну енергозберігаючу систему Mini-till із повним переоснащенням тракторного та посівного парку на сучасні українські та імпортні агрегати (трактори ХТЗ-241К, посівні комплекси Elvorti Alfa 6, вантажівки КрАЗ), виключивши будь-яку техніку виробництва рф та рб.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						54
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

4. Для забезпечення безаварійної роботи агрегату на проектній швидкості 17 км/год розроблено та розраховано на міцність модернізовані робочі органи, зафіксовані у відповідних кресленнях. Розрахунки підтвердили, що:

– Новий консольний ніж із легованої сталі 65Г витримує швидкісні динамічні удари (діючі напруження згину 44,88 МПа при допустимих 450 МПа).

– Посилена вісь барабана (сталь 45, діаметр збільшено до 50 мм) надійно працює під сумісною дією згину та кручення ($\sigma_{\text{екв}} = 152,6 \text{ МПа} < [\sigma] = 160 \text{ МПа}$).

– Модернізована кручена амортизаційна пружина підвіски (сталь 60С2А, дрiт 14 мм) успішно демпфує високочастотні вібрації, працюючи суворо в межах пружних деформацій.

5. Операційна технологія та контроль якості. Розроблено та детально описано комплексну операційно-технологічну карту процесу подрібнення, яка регламентує параметри вхідного, технічного, поточного та вихідного контролю, забезпечуючи експлуатаційну продуктивність агрегату на рівні 8,16 га/год та виконання агротехнічних вимог (крок ножа 8,2 см) без утворення огріхів.

6. Економічна ефективність та охорона праці. Впровадження розробленого інженерного комплексу дозволяє знизити питому витрату палива на 56,8%, скоротити витрати праці на 66,2% та підвищити врожайність озимої пшениці Шестопалівка з 2,8 до 6,4 т/га. Це забезпечує зниження собівартості зерна та виводить рентабельність виробництва в ТОВ «НОВАГРО-ТЕХ-СЕРВІС» на рівень 128%. Одночасно розроблено заходи з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки, які гарантують створення повністю безпечних та нешкідливих умов праці для обслуговуючого персоналу.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		55



					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						56
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Зміст

	стор
Вступ	5
2. Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення	8
3. Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування заданої культури	30
4. Інженерна частина	36
5. Охорона праці	46
Висновки	50
Список використаних джерел	52
Додатки	55

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / за ред. М. І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382 с.
2. Сисолін П. В. Теорія проектування та розрахунку посівних машин. Київ: Вища школа, 1994. 215 с.
3. Комаристов В. Ю., Петренко М. М., Косінов М. М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 1996. 432 с.
4. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Сало Л. В. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навч. посібник. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. 216 с.
5. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатирьов Д. В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: навч. посібник. Кропивницький: ЦНТУ, 2016. 234 с.
6. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
7. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
8. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Каравела, 2015. 552 с.
9. Бакум М. В. Сільськогосподарські машини: посібник / за ред. М. В. Бакума. Харків: ХНТУСГ, 2008. 284 с.
10. Булгаков В. М. Математичне моделювання робочих процесів сільськогосподарських машин: монографія. Київ: НУБіП України, 2011. 320 с.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						58
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

11. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 133 «Галузеве машинобудування» / [уклад.: Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок, Д.Ю. Артеменко, О.В. Нестеренко, С.М. Мороз]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 58 с.

					ПТА 00.000 ПЗ	Арк
						59
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		