

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 ПРН-4,5

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Шевченко Дмитро Юрійович

« ____ » 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

«__» __03__ 2026 року

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

Шевченко Дмитро Юрійович

1. Тема роботи: «Механізація вирощування озимої пшениці з модернізацією подрібнювача ПРН-4,5 »
2. Керівник роботи Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту __05.06.2026__
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)
модернізація подрібнювача, яка в цілому направлена на підвищення продуктивності і якості процесу подрібнення рослинних решток.

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 _____

Шевченко Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності механізованого процесу вирощування озимої пшениці сорту Богдана шляхом модернізації роторного подрібнювача ПРН-4.5. На основі аналізу типової технології обґрунтовано доцільність переходу від енергоємної оранки до ресурсозберігаючого мілкого мульчувального обробітку (Mini-till). Запропоновано двоярусну послідовну схему розташування ножів на роторі, яка дозволила знизити пікові динамічні навантаження на трансмісію у два рази та розширити зону розкидання мульчі до 6,0 м. Розраховано оптимальні параметри машинно-тракторного агрегату у складі трактора ХТЗ-17221 та вдосконаленого подрібнювача, що забезпечує лінійну швидкість різання 56,54м/с. Розроблено операційно-технологічну карту процесу, яка регламентує продуктивність агрегату на рівні 28,28га/зміну та питому витрату палива 4,14л/га . Конструктивні розрахунки конічних редукторів і шліцевих з'єднань підтвердили їхню високу надійність, а модернізований ніж із сталі 65Г продемонстрував повну ударну стійкість. Впровадження розроблених інженерних рішень на площі 327 га забезпечує зниження витрат палива на 29% та загальний економічний ефект у розмірі 464 756 грн.

Ключові слова: озима пшениця, подрібнювач ПРН-4.5, модернізація, мульчування, економічна ефективність.

Abstract

The qualification thesis is dedicated to improving the efficiency of the mechanized cultivation process of winter wheat (Bogdana variety) through the modernization of the PRN-4.5 rotary chopper. Based on the analysis of typical technology, the feasibility of transitioning from energy-intensive plowing to resource-saving shallow mulch tillage (Mini-till) is substantiated. A two-tier sequential layout of knives on the rotor is proposed, which reduces peak dynamic loads on the transmission by half and expands the mulch scattering zone up to 6.0 m. The optimal parameters of the machine-tractor unit consisting of the KhTZ-17221 tractor and the upgraded chopper are calculated, providing a linear cutting speed of 56.54m/s. An operational-technological chart of the process has been developed, which regulates the unit productivity at 28.28ha/shift and a specific fuel consumption of 4.14l/ha. Structural calculations of the conical gearboxes and splined joints confirmed their high reliability, while the modernized knife made of 65G steel demonstrated full impact resistance. The implementation of the developed engineering solutions on an area of 327 ha ensures a 29% reduction in fuel consumption and a total economic effect of 464,756 UAH.

Keywords: winter wheat, PRN-4.5 chopper, modernization, mulching, economic efficiency.

ВСТУП

Забезпечення глобальної продовольчої безпеки є одним із найкритичніших викликів сучасності. На тлі стрімкого зростання чисельності населення планети, зокрема в країнах Африки, Близького Сходу та Азіатсько-Тихоокеанського регіону, ризики масового голоду та дефіциту базових продуктів харчування досягли критичних масштабів. Провідну роль у запобіганні світовій продовольчій кризі традиційно відіграє виробництво зернових культур, серед яких озима пшениця є стратегічною та незамінною продовольчою культурою.

Для України, як одного з ключових експортерів зерна у світі, розвиток зернового господарства наб ув не лише економічного, а й геополітичного та безпекового значення. Повномасштабна війна, розв'язана проти нашої держави, завдала нищівного удару по аграрному сектору: логістичні ланцюжки зруйновані, значні площі родючих земель заміновані або тимчасово окуповані, а вартість енергоносіїв, добрив та техніки стрімко зросла. У цих надскладних умовах воєнного стану вітчизняні аграрії змушені функціонувати в режимі максимальної економії ресурсів. Вирощування озимої пшениці вимагає впровадження новітніх енерго- та ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють знизити собівартість продукції, зберегти потенціал ґрунтів і забезпечити високу врожайність для виконання внутрішніх та міжнародних гуманітарних зобов'язань. Сучасні тенденції в землеробстві орієнтовані на мінімалізацію обробітку ґрунту (технології Mini-till та No-till), невід'ємною частиною яких є ефективне управління післяжнивними рештками. Органічна маса, що залишається після збирання попередників (наприклад, кукурудзи, соняшнику або

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

грубостеблових сидератів), є цінним джерелом відновлення гумусу та захисту екосистеми поля. Проте, її раціональне використання неможливе без якісної механізованої підготовки.

Ключовою проблемою при підготовці поля під посів озимої пшениці є низька ефективність роботи наявних подрібнювачів. Робота з грубостебловими рештками часто супроводжується високою енергоємністю процесу, швидким зносом робочих органів, забиванням ротора та нерівномірним розподілом подрібненої маси по поверхні поля. Якщо пожнивні рештки подрібнені неякісно (мають надмірну довжину або розподілені купами), це призводить до:

- порушення роботи посівних агрегатів (забивання сошників);
- погіршення контакту насіння пшениці з ґрунтом і, як наслідок, нерівномірних сходів;
- уповільнення процесів мінералізації органіки та утворення осередків поширення фітопатогенів і шкідників.

Широко поширений у господарствах подрібнювач роторний навісний ПРН-4.5 у своєму базовому конструктивному виконанні вже не повною мірою відповідає сучасним вимогам інтенсивного рослинництва. Його експлуатація на підвищених швидкостях або на полях із високою урожайністю біомаси призводить до надмірних питомих витрат палива та незадовільного фракційного складу подрібнення. Це зумовлює гостру виробничу потребу в модернізації його робочих органів та кінематичних параметрів.

Мета проведення операцій з подрібнення. Технологічна мета подрібнення післяжнивних решток полягає у створенні однорідного, мілкофракційного мульчуючого шару на поверхні ґрунту. Це забезпечує:

1. Агротехнічний ефект: прискорення гуміфікації, збереження ґрунтової вологи, захист від вітрової та водної ерозії, пригнічення росту бур'янів.

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

2. Технологічний ефект: створення оптимального агрофону для безперешкодного проходження сошників сівалки та якісної заробки насіння озимої пшениці на задану глибину.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованого процесу вирощування озимої пшениці шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та модернізації роторного подрібнювача ПРН-4.5. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан, тенденції та технологічні комплекси машин для механізації вирощування озимої пшениці в умовах ресурсозберігаючого землеробства.
2. Обґрунтувати доцільність модернізації подрібнювача ПРН-4.5 та запропонувати конструктивні зміни (удосконалення форми ножів / оптимізація приводу / покращення копіювання рельєфу), що забезпечать зниження енергоємності процесу.
3. Виконати необхідні технологічні, кінематичні та конструктивні розрахунки модернізованого вузла агрегату.
4. Розробити операційно-технологічну карту на виконання операції подрібнення решток.
5. Розрахувати економічну ефективність впровадження модернізованої машини та оцінити умови охорони праці при її експлуатації.

Об'єкт дослідження – процес механізованого подрібнення та розподілу післяжнивних решток під час підготовки ґрунту до посіву озимої пшениці.

Предмет дослідження – конструктивні та кінематичні параметри модернізованого подрібнювача ПРН-4.5 (геометрія робочих органів, частота обертання ротора, енергетичні показники роботи).

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці та впровадженні у виробництво модернізованої конструкції подрібнювача, яка дозволить покращити якість підготовки агрофону, знизити витрати

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

дизельного пального на гектар та підвищити загальну рентабельність вирощування стратегічної продовольчої культури в умовах економічних та воєнних викликів.

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

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

Сучасне сільськогосподарське виробництво вимагає чіткого дотримання технологічної дисципліни. Вирощування озимої пшениці базується на комплексі послідовних механізованих операцій, спрямованих на створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин, мінімізацію втрат та отримання максимальної врожайності зерна високої якості.

Для обґрунтування доцільності модернізації подрібнювача ПРН-4,5 необхідно детально проаналізувати базову технологічну схему, що застосовується у господарствах Центрального регіону України, та виявити її критичні недоліки.

2.1. Структура та характеристика операцій типової технології

Типова інтенсивна технологія вирощування озимої пшениці після грубостеблових попередників (соняшник, кукурудза) складається з наступних основних етапів:

Лущення стерні та подрібнення пожнивних решток. Операція виконується одразу після збирання попередника. Призначена для подрібнення стебел, підрізання бур'янів та провокації їхнього насіння до проростання. Зазвичай використовуються дискові луцильники (ЛДГ-10, ЛДГ-15) або подрібнювачі роторного типу.

Основний обробіток ґрунту. Класичний підхід передбачає глибоку оранку на глибину **20 ... 22 см** плугами загального призначення (ПЛН-3-35, ПЛН-5-35) в агрегаті з тракторами класу 1.4–3 (МТЗ-82, ХТЗ-17221). Мета операції –

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

повна заробка рослинних решток та добрив у нижні шари ґрунту для їхньої подальшої мінералізації.

Передпосівний обробіток. Включає ранньовесняне або передпосівне вирівнювання та культивацію на глибину заробки насіння (4 ... 5 см). Виконується культиваторами КПС-4, КПО-4 або сучасними комбінованими агрегатами (компакторами) типу ЛК-4.

Посів. Здійснюється зернотуковими сівалками (СЗ-3,6, СЗ-5,4, СЗП-3,6) або посівними комплексами з одночасним внесенням у рядки стартової дози мінеральних добрив (нітроамофоски). Оптимальна глибина заробки насіння становить 3 ... 5 см.

Догляд за посівами. Передбачає до- або післясходове коткування для покращення контакту насіння з ґрунтом (кільчасто-шпорові котки ЗКШ-6), а також хімічний захист від бур'янів, хвороб та шкідників за допомогою штангових обприскувачів (ОП-2000, ОПК-22).

Збирання врожаю. Виконується методом прямого комбайнування зернозбиральними комбайнами (Славутич, Скіф, Дон-1500Б, КЗС-9-1) при досягненні повної стиглості зерна та його вологості не більше 14 ... 15%.

2.2. Недоліки та “вузькі місця” базової технологічної схеми

Детальний інженерно-технологічний аналіз вищеописаної класичної схеми дозволяє виділити кілька суттєвих недоліків, які суттєво знижують рентабельність виробництва зерна в сучасних умовах:

– Висока енергоємність та витрата палива. Проведення глибокої оранки для загортання великої кількості неподрібненої або погано подрібненої біомаси соняшнику чи кукурудзи потребує значних затрат потужності

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

трактора. Витрата дизельного пального лише на одну операцію оранки досягає 18 ... 24л/га, що суттєво здорожує собівартість зерна.

– Руйнування структури ґрунту та ерозія. Оборот пласта плугом порушує природну архітектоніку ґрунту, знищує корисну мікрофлору (аеробні та анаеробні бактерії опиняються у невластивих їм умовах) та сприяє розвитку водної та вітрової ерозії.

– Критичні втрати ґрунтової вологи. Багаторазовий механічний обробіток (оранка, подальше дискування для розбивання брил, культивація) призводить до інтенсивного випаровування вологи з орного шару. В умовах частих посух у період посіву озимини (серпень–вересень) це стає причиною затримки сходів або їхньої повної відсутності.

– Утворення “соломистих подушок”. Якщо пожнивні рештки перед заробкою в ґрунт не були якісно подрібнені (мають довжину понад 100 – 150мм), вони не переміщуються з землею, а лягають суцільним шаром на глибині обробітку. Цей шар блокує капілярний підтік вологи з нижніх горизонтів до насіння пшениці, що призводить до зрідженості посівів.

– Технологічні проблеми під час посіву. Крупні, довгі та волокнисті стебла решток, які залишаються на поверхні або у верхньому шарі ґрунту, спричиняють постійне забивання сошників сівалки. Сівалка починає згрібати рештки в купи, порушується стабільність глибини висіву, частина насіння залишається незаробленою.

2.3. Обґрунтування шляхів удосконалення технології

Для подолання вказаних проблем та адаптації процесу вирощування озимої пшениці до сучасних вимог ресурсозбереження та воєнного стану (коли паливо та добрива є дефіцитними), технологію необхідно модернізувати.

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

Основна концепція удосконалення: Перехід від витратного відвального обробітку (оранки) до енергозберігаючого мілкового мульчувального обробітку (технологія Mini-till) за рахунок радикального підвищення якості попереднього подрібнення біомаси на поверхні поля.

Визначаються такі ключові шляхи реалізації цього завдання:

Перенесення технологічного акценту на якісну деструкцію решток. Замість енергоємного “закопування” великих стебел углиб, їх необхідно дрібно роздрібнити безпосередньо на поверхні поля одразу після проходу зернозбирального комбайна.

Оптимізація фракційного складу. Модернізований процес повинен забезпечувати подрібнення біомаси до довжини частинок 30 ... 50мм з розщепленням волокон вздовж стебла. Така фракція швидко піддається дії ґрунтових бактерій, прискорює процеси мінералізації та утворення гумусу, а також повністю виключає забивання сошників посівних агрегатів.

Рівномірний розподіл мульчі. Подрібнена маса має рівномірно розподілятися по всій ширині захвату машини, створюючи пухкий захисний екран. Цей шар виконує роль терморегулятора (запобігає перегріву ґрунту), утримує капілярну вологу та стримує ріст бур'янів, що дозволяє зменшити пестицидне навантаження.

Модернізація робочих органів подрібнювача ПРН-4,5. Економічно недоцільно купувати дорогі закордонні аналоги, якщо господарства мають у своєму розпорядженні серійні роторні подрібнювачі ПРН-4,5. Проте їхня базова конструкція ножів характеризується високою енергоємністю та недостатньою якістю подрібнення товстостеблених залишків кукурудзи та соняшнику.

Напрямок конструктивного удосконалення ПРН-4,5 у роботі визначено:

– Зміну геометричних параметрів та форми заточування різальних ножів (впровадження сегментних або ступенізація робочих органів) для переходу від

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

процесу чистого рубання до процесу ковзного різання з розщепленням волокон.

- Оптимізацію схеми розташування ножів на роторі задля зменшення пікових динамічних навантажень.

- Зниження питомого опору різанню, що дозволить зменшити навантаження на ВВП (вал відбору потужності) трактора, знизити витрату палива на 12 ... 15% та повністю відмовитися від плуга на користь одного проходу дискового компактора.

2.4. Біологічні особливості озимої пшениці

Для обґрунтування параметрів механізованих процесів, зокрема якості підготовки агрофону, необхідно враховувати біологічні вимоги культури до умов життєдіяльності [1].

- Вимоги до температури. Озима пшениця – культура помірного клімату. Насіння починає проростати за температури 1 ... 2°C, але для дружніх і швидких сходів оптимальною є температура 12 ... 15°C. Восени для нормального розвитку та кущення рослин потрібна сума ефективних температур близько 200 ... 300°C. Оптимальна температура для кущення становить 13 ... 18°C. Зниження температури восени до 4 ... 5°C призупиняє вегетацію. Добре загартовані рослини здатні витримувати морози до –16 ... – 18°C на глибині вузла кущення, а за наявності снігового покриву – навіть до –25 ... – 30°C.

- Вимоги до вологи. Озима пшениця є досить вимогливою до вологозабезпечення. Транспіраційний коефіцієнт становить 400 ... 500. Критичними періодами щодо вологи є фази виходу в трубку, колосіння та

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						13
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

наливу зерна. Проте найважливішим моментом для формування майбутнього врожаю є наявність продуктивної вологи у верхньому шарі ґрунту (0 ... 20 см) під час посіву. Саме тому якісне мульчування поля модернізованим подрібнювачем ПРН-4,5 є критично важливим – шар дрібно подрібненої соломи захищає капілярну вологу від випаровування, забезпечуючи життєдіяльність проростків у сухий осінній період [1].

– Вимоги до ґрунту. Культура дуже чутлива до типу ґрунтів та їхньої структури. Найкращими для неї є чорноземи (типові, звичайні, південні) з високим вмістом гумусу, глибоким гумусовим профілем та нейтральною або слабкокислою реакцією ґрунтового розчину (рН 6,0 ... 7,5). Пшениця потребує добре аерованого ґрунту з дрібногрудкуватою структурою.

2.5. Місце озимої пшениці в сівозміні

У сучасному агровиробництві Центрального регіону України через економічні чинники структура сівозмін зазнала значних змін. Рациональне розміщення пшениці після правильних попередників дозволяє знизити забур'яненість та зменшити витрати на пестициди [1].

У таблиці 2.5 наведено порівняльну оцінку попередників озимої пшениці та обсяги пожнивних решток, які вони залишають.

Таблиця 2.5 – Оцінка попередників озимої пшениці та обсяг біомаси решток

Попередник	Оцінка цінності як попередника	Кількість пожнивних решток, т/га	Складність механізованого обробітку решток
Чорний або сидеральний пар	Ідеальний	1,0 ... 1,5	Низька, рештки зароблені заздалегідь
Горох, соя (ранні)	Добрий	2,0 ... 3,0	Середня, стебла м'які та легко руйнуються

Соняшник (ранньо- та середньостиглий)	Задовільний (найбільш поширений)	4,0 ... 6,0	Висока, стебла міцні, високі, волокнисті
Кукурудза на зерно	Допустимий	6,0 ... 9,0	Надзвичайно висока, велика маса грубих стебел

Хоча найкращими попередниками є пари та зернобобові, реалії агробізнесу Кіровоградщини змушують висівати озиму пшеницю переважно після соняшнику. Соняшник залишає після себе потужну, волокнисту і високу стерню вагою до 6 тонн на гектар. Базова механізація не здатна якісно з нею впоратися без оранки. Це ще раз доводить, що модернізація ПРН-4,5 під роботу по соняшникову агрофону є першочерговим завданням для впровадження безплужного обробітку.

2.6. Система удобрення озимої пшениці

Озима пшениця характеризується високим виносом елементів живлення з ґрунту. На формування 1 тонни зерна з відповідною кількістю соломи рослини витрачають: азоту (N) – 25 ... 32кг; фосфору (P_2O_5) – 11 ... 13кг; калію (K_2O) – 20 ... 27кг [1].

Система удобрення складається з трьох основних етапів (Таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Етапи та норми внесення добрив під озиму пшеницю

Етап внесення	Тип (марка) добрива	Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га	Роль у процесі вегетації
Основне (під обробіток ґрунту)	Діамофоска, Суперфосфат	Розкидний (РУМ, МВУ)	150 ... 200	Забезпечує фосфором і калієм для розвитку кореневої системи

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						15
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Етап внесення	Тип (марка) добрива	Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га	Роль у процесі вегетації
				восени.
Припосівне (у рядки)	Нітроамофоска (NPK 16:16:16)	Локальний (туковисівні системи сівалки)	50 ... 80	Стартове живлення сходів на початкових етапах розвитку.
Підживлення (ранньовесняне)	Аміачна селітра, КАС-32	По таломерзлому ґрунту або прикоренево	150 ... 250	Стимулює весняне кущення та підвищує вміст білка в зерні.

Окрім мінеральних добрив, потужним резервом живлення є самі пожнивні рештки соняшнику. У 5 тоннах залишків соняшнику міститься близько 30 — 40 кг чистого калію та 15 — 20 кг азоту. Проте ці елементи стануть доступними для пшениці лише тоді, коли рештки швидко мінералізуються (перегниють) у ґрунті.

Якщо базовий подрібнювач залишає великі шматки стебел, вони гниють 2–3 роки, зв'язуючи при цьому ґрунтовий азот і викликаючи «азотне голодування» пшениці навесні. Модернізований ПРН-4,5, який розщеплює стебло на фракцію 30 ... 50 см, забезпечує мінералізацію решток уже до початку весни. Це дозволяє зекономити до 15 ... 20% дорогої аміачної селітри під час весняного підживлення, суттєво знижуючи загальну собівартість технології [1].

2.7. Висновок частині 2

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

Таким чином, аналіз типової технології показав, що найбільш перспективним та економічно обґрунтованим шляхом її удосконалення є модернізація робочих органів роторного подрібнювача ПРН-4,5. Це дозволить реалізувати енергозберігаючу технологію обробітку під озиму пшеницю, забезпечити вологозбереження та гарантувати стабільні сходи культури в умовах жорстких кліматичних та економічних викликів.

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						17
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОЇ ОПЕРАЦІЇ З ВИРОЩУВАННЯ ЗАДАНОЇ КУЛЬТУРИ

Технологія вирощування продукції рослинництва пов'язана з виконанням у певній послідовності ряду технологічних процесів. Технологічні операції повинні виконуватися згідно з правилами, які розроблені на основі досягнень науки та передового досвіду по використанню техніки. У цьому розділі розроблено та розраховано операційну карту процесу подрібнення післяжнивних решток кукурудзи модернізованим широкозахватним агрегатом у складі енергонасиченого трактора ХТЗ-17221 та подрібнювача ПРН-4,5, а також обґрунтовано впровадження удосконаленої технологічної карти вирощування озимої пшениці.

Озима пшениця є головною продовольчою культурою не лише в Україні, а й у світовому землеробстві. Її стратегічне значення для аграрного сектору Кіровоградської області та Центрального регіону в цілому зумовлене високою адаптивністю до ґрунтово-кліматичних умов, стабільним попитом на внутрішньому та зовнішньому ринках, а також її роллю у забезпеченні продовольчої безпеки держави. Зерно пшениці є основним джерелом для виробництва борошна, хлібобулочних, макаронних та кондитерських виробів. Висока поживна цінність пшеничного хліба визначається збалансованим вмістом білків, вуглеводів, вітамінів групи В, РР та мінеральних речовин. Особливе значення має вміст у зерні клейковинних білків (гліадину та глютеніну), які зумовлюють високі хлібопекарські властивості борошна та пишність готової продукції. Окрім продовольчого використання, зерно пшениці та побічна продукція (висівки, зернові відходи) є цінним компонентом для виробництва комбікормів у тваринництві, а солома використовується як підстилка, органічне добриво або сировина для альтернативної енергетики.

В агротехнічному аспекті озима пшениця посідає ключове місце у сівозмінах Центрального Степу та Лісостепу. Будучи культурою суцільного

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						18
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

посіву, вона ефективно пригнічує розвиток бур'янів, захищає ґрунт від водної та вітрової ерозії, а її потужна коренева система покращує структуру та аерацію орного шару. Після збирання озимини у ґрунті залишається значна кількість кореневих та післяжнивних залишків, які прискорюють гумусоутворення та активізують корисну мікрофлору. Вона є відмінним попередником для більшості просапних та технічних культур, зокрема для соняшнику, сої та ярих зернових. Ранні терміни збирання пшениці дозволяють своєчасно і якісно підготувати ґрунт під наступні посіви, виконати заходи з накопичення вологи та знищення багаторічних бур'янів у післяжнивний період.

Сучасні кліматичні зміни, що супроводжуються тривалими періодами повітряної та ґрунтової посухи, висувають нові вимоги до технологій вирощування цієї культури. Традиційні енергоємні системи обробітку, що базуються на щорічній глибокій відвальній оранці, призводять до інтенсивного випаровування залишків продуктивної вологи, руйнування структури ґрунту та підвищення собівартості виробництва. В таких умовах критично важливим стає перехід на ресурсозберігаючі технології обробітку типу Mini-till. Вони передбачають відмову від плуга на користь поверхневого або мілкого дискового обробітку із обов'язковим збереженням мульчуючого шару з подрібнених рослинних решток попередника на поверхні поля. Мульча зменшує нагрівання ґрунту, мінімізує ерозійні процеси та утримує вологу в критичні періоди розвитку рослин.

Успішна реалізація потенціалу озимої пшениці в Кіровоградській області безпосередньо залежить від правильного підбору сортового складу. В останні роки одним із найпопулярніших та найбільш адаптованих сортів вітчизняної селекції став сорт Богдана. Цей сорт інтенсивного типу поєднує в собі високу потенційну врожайність (понад 10,0 т/га) із винятковою посухостійкістю, зимостійкістю та стійкістю до вилягання посівів. Проте за умов вирощування пшениці після такого складного попередника, як кукурудза на зерно, виникає ряд серйозних технологічних проблем. Кукурудза залишає по собі велику

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

кількість грубостеблової біомаси (до 7,5 т/га), яка повільно розкладається, ускладнює роботу посівних агрегатів та стає джерелом поширення хвороб (особливо фузаріозу колосових) і шкідників, таких як стебловий кукурудзяний метелик.

Ефективне вирішення цієї проблеми полягає у якісному механічному подрібненні залишків кукурудзи відразу після проходу збирального комбайна. Застосування модернізованого навісного роторного подрібнювача ПРН-4,5 в агрегаті з трактором ХТЗ-17221 дозволяє розмочалювати та дрібно сікти товстостінні стебла кукурудзи, перетворюючи їх на однорідний органічний шар мульчі. Це не лише забезпечує безперешкодну роботу дискових знарядь та зернових сівалок без забивання робочих органів, а й прискорює гуміфікацію органіки під дією ґрунтових мікроорганізмів. Крім того, руйнування стебел повністю знищує гусінь кукурудзяного метелика, яка залишається на зимівлю у нижніх міжвузлях стерні, що суттєво знижує пестицидне навантаження на наступні посіви. Таким чином, інтеграція операції якісного подрібнення в удосконалену технологічну карту вирощування озимої пшениці є ключовим інженерним рішенням для підвищення врожайності культури та зниження операційних витрат господарства.

3.1. Умови роботи

Для виконання технологічних та кінематичних розрахунків машино-тракторного агрегату (МТА) приймаємо типові умови агрофону Центрального регіону України (Кіровоградська область):

–Загальна площа посіву: $F = 327$ га.

–Рельєф поля: рівнинний, загальний ухил поверхні не перевищує 2 градусів.

–Попередник озимої пшениці: кукурудза на зерно (середня врожайність сухої біомаси стебел та листків – 6,0...7,5 т/га).

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

–Характеристика залишків: грубостеблові залишки кукурудзи, висота стерні після збирання – до 450...650 мм.

–Вологість рослинних решток: 18...24%.

–Вологість ґрунту: в орному шарі (0...10 см) становить 16...20%.

–Твердість ґрунту: 1,5...2,2 МПа.

–Конфігурація поля: прямокутна загінка з довжиною гону $L = 1000$ м.

3.2. Агротехнічні вимоги

Операція подрібнення біомаси попередника під посів озимої пшениці повинна чітко відповідати чинним агротехнічним вимогам, які забезпечують перехід на безплужний обробіток:

Якість фракційного складу: вміст подрібнених частинок розміром до 50 мм повинен становити не менше 90% від загальної маси решток кукурудзи.

Ступінь деструкції стебла: окрім поперечного різання, ножі повинні забезпечувати розщеплення та розмочалювання товстостінних стебел кукурудзи для прискорення їх мінералізації та знищення місць зимування шкідників (кукурудзяного метелика).

Висота залишкової стерні: після проходу агрегату висота не зрізаних залишків не повинна перевищувати 50...70 мм.

Рівномірність розподілу мульчі: подрібнений шар повинен бути рівномірно розподілений по всій ширині захвату подрібнювача ($B_p = 4,5$ м).

Допустиме відхилення рівномірності – не більше 10%.

Взаємодія з ґрунтом: копіювальні органи подрібнювача повинні виключати заглиблення різальних ножів у ґрунт, щоб запобігти їх швидкому затупленню та забиванню ротора землею.

3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						21
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Для роботи з навісним роторним подрібнювачем ПРН-4,5 комплектується колісний енергонасичений трактор класу 3 – ХТЗ-17221 з двигуном Deutz BF6M1013E (номінальна потужність 210 к.с. / 154 кВт). Вибір даного двигуна обґрунтований його високою паливною економічністю та здатністю підтримувати стабільний крутний момент на валу відбору потужності (ВВП = 1000 об/хв) при роботі на високих швидкостях у важких умовах густого кукурудзяного стеблостою.

3.3.1. Обґрунтування та розрахунок робочої швидкості руху

Завдяки високому коефіцієнту запасу крутного моменту двигуна Deutz та модернізації різальних елементів ПРН-4,5 (зменшення питомого опору різанню), агрегат здатний стабільно працювати без перевантаження на підвищених швидкостях. Приймаємо оптимальну робочу швидкість:

$$v_p = 11,5 \text{ км/год} \quad (3,19 \text{ м/с})$$

3.3.2. Розрахунок продуктивності агрегату

Теоретична (технологічна) годинна продуктивність МТА визначається за формулою:

$$W_T = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau_{\text{викор}}$$

де

B_p – конструктивна робоча ширина захвату подрібнювача ПРН-4,5 (4,5 м);

v_p – обрана робоча швидкість (11,5 км/год);

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						22
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

$\tau_{\text{викор}}$ – коефіцієнт використання змінного часу. Для важких швидкісних МТА класу 3 з урахуванням часу на розвороти приймаємо $\tau_{\text{викор}} = 0,78$.

$$W_{\Gamma} = 0,1 \cdot 4,5 \cdot 11,5 \cdot 0,78 = 4,04 \text{га/год}$$

Змінна продуктивність агрегату за умов тривалості зміни $T_{\text{зм}} = 7$ год становить:

$$W_{\text{зм}} = W_{\Gamma} \cdot T_{\text{зм}} = 4,04 \cdot 7 = 28,28 \text{га/зміну}$$

Визначимо загальну кількість змін, необхідну для виконання операції на заданій площі 327 га:

$$D = \frac{F}{W_{\text{зм}}} = \frac{327}{28,28} \approx 11,56 \text{змін}$$

3.3.3. Розрахунок витрати палива

Питома витрата палива на виконання операції $G_{\text{га}}$ (л/га) розраховується через баланс часу та годинні витрати палива двигуна Deutz BF6M1013E на різних режимах роботи:

$$G_{\text{га}} = \frac{G_p \cdot T_p + G_x \cdot T_x + G_z \cdot T_z}{W_{\text{зм}}}$$

де G_p – годинна витрата палива при робочому ході. При подрібненні важких залишків кукурудзи вона становить 19,6 л/год;

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

G_x – годинна витрата палива на холостому ході (розвороти) – 8,1 л/год;

G_z – годинна витрата палива під час технологічних зупинок – 2,2 л/год;

T_p, T_x, T_z – складові балансу змінного часу (робочий час $T_p = 5,46$ год, час на розвороти $T_x = 1,14$ год, час зупинок $T_z = 0,4$ год).

$$G_{\text{га}} = \frac{19,6 \cdot 5,46 + 8,1 \cdot 1,14 + 2,2 \cdot 0,4}{28,28} = \frac{107,02 + 9,23 + 0,88}{28,28} = \frac{117,13}{28,28} \approx 4,14 \text{ л/га}$$

Загальна витрата палива на всю площу 327 га складе

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{га}} \cdot F = 4,14 \cdot 327 = 1353,78 \text{ л}$$

3.4. Підготовка поля до роботи

Трактор ХТЗ-17221 належить до категорії важких машин із шарнірно-зчленованою рамою, що вимагає ретельної підготовки робочої ділянки:

Очищення площі: поле оглядають, видаляють великі сторонні предмети, здатні зруйнувати швидкісний ротор подрібнювача.

Напрямок руху: рух агрегату організовують вздовж довгої сторони гону під кутом 5...10 градусів до напрямку руху збиральних комбайнів для ефективного підбирання похилених стебел.

Розмітка розворотних смуг: радіус повороту становить $R = 7,5$ м. Ширина розворотної смуги E розраховується як трикратний радіус повороту:

$$E = 3 \cdot R = 3 \cdot 7,5 = 22,5 \text{ м}$$

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

Приймаємо остаточну ширину розворотної смуги $E = 24$ м (що дорівнює 5–6 проходам МТА).

3.5. Організація роботи агрегату в загінці

Для даного класу МТА найефективнішим є човниковий спосіб руху з петлевими розворотами (відкрита петля, розворот типу “груша”).

Середня довжина холостого ходу на один петлевий розворот розраховується за формулою:

$$X_x = 4 \cdot R + 2 \cdot E = 4 \cdot 7,5 + 2 \cdot 24 = 30 + 48 = 78 \text{ м}$$

Оцінку кінематичної ефективності роботи МТА в загінці проводимо за коефіцієнтом робочих ходів φ при довжині гону $L = 1000$ м:

$$\varphi = \frac{L}{L + X_x} = \frac{1000}{1000 + 78} = 0,928$$

3.6. Розрахунок нормувальних показників для удосконаленої технологічної карти

Розрахунок проведено для умов Кіровоградської області на площу посіву $F = 327$ га під сорт озимої пшениці Богдана.

Розрахунок потреби в насінні:

Норма висіву для сорту Богдана після кукурудзи становить $N_n = 5,5$ млн. схожих насінин на 1 га. Маса 1000 насінин $m = 44$ г. Схожість насіння $ч = 95\%$, чистота $p = 98\%$.

Посівна придатність насіння:

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

$$\text{ПП} = \frac{ч \cdot p}{100} = \frac{95 \cdot 98}{100} = 93,1\%$$

Вагова норма висіву на 1 га:

$$H_{\text{в}} = \frac{N_{\text{н}} \cdot m \cdot 100}{\text{ПП}} = \frac{5,5 \cdot 44 \cdot 100}{93,1} \approx 260 \text{ кг/га} \quad (0,26 \text{ т/га})$$

Загальна потреба в насінні на всю площу 327 га:

$$Q_{\text{н}} = H_{\text{в}} \cdot F = 0,26 \cdot 327 = 85,02 \text{ т}$$

Розрахунок потреби в мінеральних добривах:

Внесення під дисковий обробіток нітроамофоски (N16P16K16) у нормі $H_{\text{д}} = 150 \text{ кг/га}$:

$$Q_{\text{д}} = 0,15 \cdot 327 = 49,05 \text{ т}$$

Ранньовесняне підживлення аміачною селітрою (N34) у нормі $H_{\text{підж}} = 120 \text{ кг/га}$:

$$Q_{\text{підж}} = 0,12 \cdot 327 = 39,24 \text{ т}$$

Розрахунок витрат праці, кадрів та грошових витрат:

Тривалість робочої зміни для всіх операцій приймається рівною $T_{\text{зм}} = 7$ год. Оплата праці трактористів-механізаторів розраховується за тарифною

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						26
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ставкою 180 грн/год, водіїв та допоміжних робітників – 130 грн/год. Вартість дизельного палива на момент розрахунку становить 55 грн/л. Ціна насіння сорту Богдана – 16000 грн/т, нітроамофоски – 28000 грн/т, аміачної селітри – 22000 грн/т. Вартість пестицидів на 1 га сумарно складає 1200 грн.

Для кожної операції розраховуємо трудовитрати (людино-години):

$$T_{\text{люд}} = \frac{F \cdot n}{W_{\text{зм}}} \cdot T_{\text{зм}}$$

де n – кількість операторів в агрегаті.

Грошові витрати на паливо:

$$B_{\text{пал}} = F \cdot G_{\text{га}} \cdot 55$$

Загальні витрати на матеріали складають: насіння – 1360320 грн; нітроамофоска – 1373400 грн; аміачна селітра – 863280 грн; пестициди – 392400 грн.

3.7. Розгорнута удосконалена технологічна карта вирощування озимої пшениці

Таблиця 3.1 – Удосконалена технологічна карта вирощування озимої пшениці сорту Богдана (площа 327 га)

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

Назва технологічної операції		1. Подрібнення решток кукурудзи		2. Внесення мінеральних добрив		3. Передпосівний дисковий обробіток											
Склад МТА (трактор + машина)		ХТЗ-17221 + ПРН-4,5		МТЗ-82 + МВД-900		ХТЗ-17221 + Lemke п Rubin 9											
Обсяг робіт, га		327		327		327											
Змінна прод.  , га		28,28		35,00		18,50											
Кількість змін / днів		11,56 / 4		9,34 / 3		17,68 / 6											
Кількість робітників (тракт. / вод. / допом.)		1 / 0 / 0		1 / 0 / 1		1 / 0 / 0											
Витрати праці, люд-год		80,9		130,8		123,8											
Витрата палива, л/га		4,14		1,20		7,50											
Загальна витрата палива, л		1353,8		392,4		2452,5											
Витрати на оплату праці, грн		14562		20274		22284											
Витрати на паливо, грн		74459		21582		134888											

Назва технологічної операції	Склад МТА (трактор + машина)	Обсяг робіт, га	Змінна прод. W_{3M} , га	Кількість змін / днів	Кількість робітників (тракт. / вод. / допом.)	Витрати праці, люд-год	Витрата палива, л/га	Загальна витрата палива, л	Витрати на оплату праці, грн	Витрати на паливо, грн
4. Сівба з внесенням добрив	ХТЗ-17221 + СЗ-5,4	327	16,20	20,19 / 7	1 / 0 / 2	424,0	4,80	1569,6	59358	86328
5. Ранньовесняне підживлення	МТЗ-82 + МВД-900	327	30,00	10,90 / 4	1 / 0 / 1	152,6	1,40	457,8	23653	25179
6. Комплексний хімічний захист	МТЗ-82 + ОП-2000	327	45,00	7,27 / 3	1 / 0 / 1	101,8	0,80	261,6	15779	14388
</										

Назва технологічної операції Склад МТА (трактор + машина) Обсяг робіт, га Змінна прод. W_{3M}, га Кількість змін / днів Кількість робітників (тракт. / вод. / допом.) Витрати праці, люд-год Витрата палива, л/га Загальна витрата палива, л Витрати на оплату праці, грн Витрати на паливо, грн										
7. Хімічний захист (інсектицид)	МТЗ-82 + ОП-2000	327	45,00	7,27 / 3	1 / 0 / 1	101,8	0,80	261,6	15779	14388
8. Збирання врожаю (комбайнування)	New Holland CX6.90	327	14,00	23,36 / 8	1 / 0 / 0	163,5	11,50	3760,5	29430	206828
9. Транспортування зерна	ХТЗ-17221 + 2ПТС-9	327	25,00	13,08 / 8	1 / 3 / 0	366,2	3,20	1046,4	47606	57552

Зм.

Арк.

№ докум

Підпис

Дата

ПРН 00.000 ПЗ

Арк

30

Назва технологічної операції	Склад МТА (трактор + машина)	Обсяг робіт, га	Змінна прод.  , га	Кількість змін / днів	Кількість робітників (тракт. / вод. / допом.)	Витрати праці, люд-год	Витрата палива, л/га	Загальна витрата палива, л	Витрати на оплату праці, грн	Витрати на паливо, грн
Разом		327		120,65 / 46	9 / 3 / 6	1645,4	35,34	11556,2	248725	635592

Удосконалена технологічна карта систематизує комплекс механізованих робіт на загальній площі 327 га із детальним відображенням балансу праці, палива та фінансових витрат на оплату робітників і ПММ. Загальні трудовитрати на реалізацію технології становлять 1645,4 людино-години, при цьому залучається професійний склад із 9 трактористів, 3 водіїв транспортних засобів та 6 допоміжних робітників на завантаженні насіння та добрив. Сумарна потреба в дизельному паливі становить 11556,2 літрів при середньому питомому показнику 35,34 л/га на весь цикл вирощування. Прямі фінансові витрати на оплату праці складають 248725 грн, а на забезпечення агрегатів паливом – 635592 грн, що дає можливість чітко розрахувати прямі експлуатаційні витрати до початку польових робіт.

3.8. Операційна карта на процес подрібнення рослинних решток

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

Таблиця 3.2 – Операційно-технологічна карта на подрібнення решток кукурудзи агрегатом ХТЗ-17221 + ПРН-4,5

Елементи операційної карти	Технологічні, технічні та організаційні показники
1. Склад машинно-тракторного агрегату	Трактор колісний ХТЗ-17221 (210 к.с.); роторний навісний подрібнювач ПРН-4,5 (модернізовані ножі); обслуговує 1 тракторист-механізатор 1-го класу.
2. Режим роботи і налаштування двигуна	Робоча швидкість – 11,5 км/год; 2 передача II діапазону; номінальна частота обертання колінчастого вала – 2100 об/хв; частота обертання ВВП – 1000 об/хв.
3. Підготовчі операції та регулювання	Балансування ротора; фіксація ножів із моментом затяжки 120 Нм; тиск у шинах: передні – 0,12 МПа, задні – 0,11 МПа; встановлення опорних катків на висоту зрізу 50-70 мм.
4. Організація руху агрегату на полі	Човниковий спосіб руху з петлевими розворотами “груша” без зупинки ротора. Довжина гону $L = 1000$ м; ширина розворотної смуги $E = 24$ м; кут до проходів комбайна – 5-10°.
5. Показники продуктивності та палива	Годинна продуктивність $W_T = 4,04$ га/год; змінна прод. $W_{зм} = 28,28$ га/зміну; питома витрата палива – 4,14 л/га; загальна витрата палива на 327 га – 1353,78 л.
6. Параметри та методи контролю якості	Висота стерні до 70 мм (замір лінійкою кожні 200 м); частка фракцій менше 50 мм – не менше 90% (зважування зразка з рамки 1x1 м); повна відсутність огріхів.
7. Охорона праці та техніка безпеки	Огородження робочої зони ротора радіусом 50 м; проведення обслуговування, очищення забивань та заміни ножів виключно при зупиненому двигуні та знятому шліцевому валу ВВП.

Розроблена операційно-технологічна карта регламентує параметри роботи проектного агрегату. Вона інтегрує технічні режими, кінематику руху, норми витрат та правила контролю якості в єдину інструкцію для механізатора. Карта деталізує налаштування ходової системи трактора та копіювальних

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

органів подрібнювача, фіксує нормативи продуктивності (28,28 га за зміну) та гектарну витрату палива (4,14 л/га). Інструкція містить чіткі методики інструментального контролю якості фракційного складу за допомогою рамки 1х1 м, що виключає суб'єктивізм при прийманні роботи та забезпечує повну відповідність вимогам безплужного обробітку ґрунту.

3.9. Техніко-економічне порівняння базової та удосконаленої технології

Для обґрунтування ефективності впровадження розроблених інженерних рішень проведено порівняльний техніко-економічний аналіз базової технології (яка базувалася на відвальній оранці плугом ПЛН-5-35 та супутніх культивуаціях) та удосконаленої ресурсозберігаючої технології (з подрібненням решток агрегатом ХТЗ-17221 + ПРН-4,5 та мілким дисковим обробітком) на площі 327 га.

Таблиця 3.3 – Техніко-економічні показники базової та удосконаленої технологій вирощування озимої пшениці

Найменування техніко-економічних показників	Базова технологія	Удосконалена технологія	Абсолютне відхилення (+/-)	Економічний ефект, %
1. Загальні витрати праці на всю площу, люд-год	2150,5	1645,4	-505,1	23,5
2. Питомі витрати праці на 1 га, люд-год/га	6,58	5,03	-1,55	23,5
3. Загальна витрата дизельного палива, л	16284,6	11556,2	-4728,4	29,0
4. Питома витрата дизельного палива, л/га	49,80	35,34	-14,46	29,0
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
ПРН 00.000 ПЗ				Арк
				33

Найменування техніко-економічних показників	Базова технологія	Удосконалена технологія	Абсолютне відхилення (+/-)	Економічний ефект, %
5. Витрати на оплату праці робітників, грн	318500	248725	-69775	21,9
6. Витрати на дизельне паливо, грн	895653	635592	-260061	29,0
7. Витрати на технологічні матеріали, грн	4124320	3989400	-134920	3,3
8. Сумарні прямі операційні витрати, грн	5338473	4873717	-464756	8,7
9. Питомі операційні витрати на 1 га, грн/га	16325,6	14904,3	-1421,3	8,7

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників двох технологічних схем підтверджує високу інженерну та фінансову доцільність впровадження удосконаленої технології. Завдяки виключенню відвальної оранки та повторних суцільних культивувань, сумарна витрата дизельного палива на площі 327 га скоротилася на 4728,4 літрів (з 49,80 до 35,34 л/га), що забезпечило пряму економію 260061 грн лише на пально-мастильних матеріалах. Витрати праці знизилися на 505,1 людино-годину (економічний ефект становить 23,5%), що суттєво зменшує напруженість у використанні робочої сили в осінній період та знижує фонд оплати праці на 69775 грн. Витрати на технологічні матеріали в удосконаленій технології зменшилися на 134920 грн за рахунок оптимізації норм внесення стартових мінеральних добрив. У підсумку сумарні прямі операційні витрати на вирощування озимої пшениці знизилися на 464756 грн, а питомі витрати на один гектар зменшилися на 1421,3 грн/га. Це доводить, що застосування модернізованого подрібнювача ПРН-4,5 є високоефективним рішенням для підвищення конкурентоспроможності агровиробництва.

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

3.10. Висновки по розділу 3

На основі аналізу умов роботи у Центральному регіоні України обґрунтовано комплектування широкозахватного швидкісного МТА у складі колісного трактора класу 3 ХТЗ-17221 з паливоекономічним двигуном Deutz BF6M1013E та модернізованого роторного подрібнювача ПРН-4,5 з робочою шириною захвату 4,5 м.

Розраховано оптимальні експлуатаційні параметри роботи агрегату на площі 327 га: при стабільній робочій швидкості 11,5 км/год годинна продуктивність становить 4,04 га/год, а змінна продуктивність за 7-годинну зміну досягає 28,28 га, що дозволяє виконати весь обсяг робіт із подрібнення за 11,56 змін (4 робочих дні).

Впровадження модернізованих робочих органів із раціональною геометрією різання дозволило знизити питомий опір машини та забезпечити низьку питому витрату палива двигуном Deutz на рівні 4,14 л/га на грубостеблових залишках кукурудзи, що потребує 1353,78 л палива на всю площу посіву.

Кінематичний аналіз підтвердив доцільність організації човникового способу руху з петлевими розворотами. При радіусі повороту трактора 7,5 м та ширині розвортної смуги 24 м коефіцієнт робочих ходів на гоні 1000 м становить 0,928, що вказує на високу ефективність використання часу зміни.

Розроблено та розраховано удосконалену технологічну карту вирощування популярного на Кіровоградщині сорту озимої пшениці Богдана інтенсивного типу на площі 327 га. Повний цикл вирощування потребує 1645,4 люд-год трудовитрат та 11556,2 л дизельного палива.

Сформовано детальну операційно-технологічну карту процесу подрібнення, яка є організаційним регламентом на виробництві та визначає

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

параметри налаштувань агрегату, режими руху та інструментальні методи оцінки якості (висота стерні до 70 мм, вміст цільової фракції понад 90%).

Техніко-економічне порівняння довело, що перехід від базової відвальної технології до удосконаленої ресурсозберігаючої системи обробітку забезпечує зниження питомої витрати палива на 14,46 л/га (29%), скорочення трудовитрат на 1,55 люд-год/га (23,5%) та зменшення гектарних операційних витрат на 1421,3 грн/га. Загальний економічний ефект на площі 327 га становить 464756 грн.

4.ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації (розробки)

Базовий навісний роторний подрібнювач ПРН-4,5 характеризується високою якістю роботи, проте досвід його промислової експлуатації виявив ряд конструктивних недоліків, що підтверджується науково-технічними дослідженнями [1, 11]. До них належать значні динамічні ударні навантаження на приводний вал при одночасному входженні ножів у щільний масив товстостеблених залишків кукурудзи чи соняшнику, а також обмежена ширина розподілення мульчі по поверхні поля, яка не завжди відповідає ширині захвату сучасних високопродуктивних збиральних комбайнів [2, 6].

Запропонована модернізація передбачає комплексне вдосконалення робочих органів подрібнювача ПРН-4,5 без збільшення загальної маси машини, що базується на патентних рішеннях вітчизняних дослідників [4, 7]. Впровадження двоярусної послідовної схеми роботи ножів верхнього та нижнього розташування на роторі дозволяє розподілити у часі моменти входу ножів у контакт із рослинною масою [8, 16]. За рахунок кутового або осьового зсуву пікові ударні навантаження на різальний апарат та елементи трансмісії знижуються у два рази, мінімізуючи вібраційні процеси всієї машини [5].

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

Оптимізація геометрії та кріплення ножів полягає у розробці робочого органу з двосторонніми симетричними різальними кромками, загостреними по всій довжині леза [3]. Для важких умов та роботи на забур'янених або кам'янистих ґрунтах запропоновано модифікацію з одним кріпильним отвором. Це дозволяє при зношуванні або викришуванні однієї кромки розвернути ніж навколо поздовжньої осі на 180 градусів безпосередньо в полі, що подвоює ресурс роботи до перезаточування. Удосконалення геометрії кожуха й дефлекторів забезпечує розширення зони ефективного розкидання подрібненого матеріалу з 4,5 метра до 6,0 метра, гарантуючи рівномірне покриття поля мульчою при мінімальному опорі повітряного середовища [9, 15].

4.2. Технологічний розрахунок

Метою технологічного розрахунку є визначення основних параметрів взаємодії робочих органів подрібнювача ПРН-4,5 з рослинним матеріалом для забезпечення заданої пропускної здатності та якості роботи відповідно до класичних методик розрахунку сільськогосподарських машин [3, 12].

Продуктивність подрібнювача за годину чистої роботи визначається за формулою:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B \cdot v_{\text{роб}}$$

де B – конструктивна ширина захвату машини, $B = 4,5$ м;

$v_{\text{роб}}$ – робоча швидкість руху машино-тракторного агрегату, приймаємо

$$v_{\text{роб}} = 11,5 \text{ км/год [14].}$$

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot 4,5 \cdot 11,5 = 5,175 \text{ га/год}$$

Об'ємна масова пропускна здатність по рослинних рештках розраховується за формулою:

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						37
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

$$q = \frac{M \cdot B \cdot v_{\text{роб}}}{36}$$

де M – середня врожайність післяжнивних залишків на корені, приймаємо $M = 6,5$ т/га.

$$q = \frac{6,5 \cdot 4,5 \cdot 11,5}{36} = 9,34 \text{ кг/с}$$

Теоретична довжина зрізу або крок різання рослинних залишків визначається за співвідношенням:

$$\lambda = \frac{\pi \cdot v_{\text{роб}}}{z \cdot \omega \cdot R \cdot 3,6}$$

де z – кількість ножів в одному ряду по колу ротора, $z = 2$;

ω – кутова швидкість ротора, рад/с;

R – радіус ротора по кінцях ножів, $R = 0,27$ м.

З урахуванням частоти обертання ротора 2000 об/хв, кутова швидкість становить 209,4 рад/с. Тоді теоретичний крок різання дорівнює:

$$\lambda = \frac{3,14 \cdot 11,5}{2 \cdot 209,4 \cdot 0,27 \cdot 3,6} = \frac{36,11}{407,1} = 0,088 \text{ м (88 мм)}$$

4.3. Кінематичний розрахунок

Робочі органи активного роторного подрібнювача ПРН-4,5 приводяться в рух від вала відбору потужності трактора ХТЗ-17221 через карданну передачу, конічний редуктор та клинопасову передачу відповідно до існуючих кінематичних схем аналогічних машин [6, 14].

Загальне передаточне число трансмісії подрібнювача визначається як:

$$i_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{ввп}}}{n_{\text{рот}}}$$

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

де $n_{\text{ВВП}}$ – частота обертання вала відбору потужності трактора, $n_{\text{ВВП}} = 1000$ об/хв;

$n_{\text{рот}}$ – робоча частота обертання ротора подрібнювача, $n_{\text{рот}} = 2000$ об/хв.

$$i_{\text{зар}} = \frac{1000}{2000} = 0,5$$

Передаточне число розподіляється між конічним потрійним редуктором ($i_{\text{ред}} = 1,0$) та підвищувальною клинопасовою передачею ($i_{\text{пас}} = 0,5$).

Кутова швидкість обертання ротора дорівнює:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{рот}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209,4 \text{ рад/с}$$

Лінійна швидкість різальних кромek ножів розраховується за формулою:

$$v_{\text{л}} = \omega \cdot R = 209,4 \cdot 0,27 = 56,54 \text{ м/с}$$

Дане значення лінійної швидкості повністю задовольняє умови чистого безпідпорного зрізу товстостеблених рослинних залишків кукурудзи та стерні пшениці, що вимагає швидкості леза в діапазоні від 45 до 60 м/с відповідно до базової теорії різання рослинних матеріалів [3, 16].

4.4. Силевий аналіз механізмів машини

Силевий аналіз дозволяє встановити крутні моменти в трансмісії та сили, які діють на елементи різального апарату ПРН-4,5 під час подрібнення, на основі закономірностей динаміки машин [3, 17].

Сила опору безпідпорному різанню одного стебла визначається за формулою:

$$P_p = k_p \cdot b_{\text{ніж}}$$

де k_p – питомий опір безпідпорного зрізання волокнистих стебел, для щільних товстостеблених культур $k_p = 4,2$ Н/мм;

$b_{\text{ніж}}$ – ширина леза модернізованого ножа, за даними креслення ПРА 04.01.001 становить $b_{\text{ніж}} = 50$ мм.

$$P_p = 4,2 \cdot 50 = 210 \text{ Н}$$

Корисний крутний момент на валу ротора подрібнювача становить:

$$M_{\text{кр.рот}} = \sum (P_{\text{різ.і}} \cdot R) + M_{\text{вент}}$$

де $\sum P_{\text{різ.і}}$ – сумарна сила різання від усіх ножів, які одночасно перебувають у контакті з матеріалом;

$M_{\text{вент}}$ – момент аеродинамічного опору обертанню ротора у повітряному середовищі, розрахований з урахуванням геометричної проекції барабана [9], приймаємо $M_{\text{вент}} = 45$ Н·м.

Завдяки впровадженню послідовної двоярусної схеми роботи ножів, кількість одночасно заглиблених у рослинний масив лез зменшується вдвічі, що знижує амплітуду коливань крутного моменту. Середнє значення корисного крутного моменту при роботі становить $M_{\text{кр.рот}} = 215$ Н·м.

Крутний момент на ведучому валу редуктора з урахуванням передаточного числа пасової передачі дорівнює:

$$M_{\text{вед}} = \frac{M_{\text{кр.рот}}}{i_{\text{пас}} \cdot \eta_{\text{пас}}} = \frac{215}{0,5 \cdot 0,96} = 447,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4.5. Енергетичний розрахунок

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

Енергетичний розрахунок визначає сумарну потужність, яку необхідно передати на подрібнювач ПРН-4,5 через вал відбору потужності трактора ХТЗ-17221 для покриття всіх технологічних опорів [3, 15].

Потужність безпосередньо на процес безпідпорного різання та подрібнення стебел дорівнює:

$$N_{\text{різ}} = M_{\text{кр.рот}} \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 215 \cdot 209,4 \cdot 10^{-3} = 45,02 \text{ кВт}$$

Загальна потужність на привід ротора з урахуванням втрат у трансмісії визначається за формулою:

$$N_{\text{заг}} = \frac{N_{\text{різ}} + N_{\text{доп}}}{\eta_{\text{тр}}}$$

де $N_{\text{доп}}$ – потужність на деформацію та повторне перекидання маси в кожусі, приймаємо $N_{\text{доп}} = 6,5 \text{ кВт}$;

$\eta_{\text{тр}}$ – загальний коефіцієнт корисної дії трансмісії, який враховує втрати в підшипниках ротора, конічному редукторі та клинопасовій передачі, $\eta_{\text{тр}} = 0,90$.

$$N_{\text{заг}} = \frac{45,02 + 6,5}{0,90} = 57,24 \text{ кВт} \quad (77,8 \text{ к.с.})$$

Енергонасичений трактор ХТЗ-17221 має достатній запас потужності двигуна для забезпечення стабільної роботи модернізованого агрегату ПРН-4,5 на швидкості 11,5 км/год без перевантаження трансмісії [12].

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

4.6.1. Розрахунок ножа на згин при ударному навантаженні

Перевірочний розрахунок найбільш навантажених елементів модернізованого подрібнювача ПРН-4,5 виконується для критичних режимів роботи агрегату. Розрахунок модернізованого ножа на згин при ударному навантаженні об випадковий твердий предмет проводиться за формулою:

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

$$\sigma_{\text{згин}} = \frac{M_{\text{згин}}}{W_x} \leq [\sigma]$$

де $M_{\text{згин}}$ – згинаючий момент від сили удару, $M_{\text{згин}} = F_{\text{уд}} \cdot l_{\text{ніж}}$. Приймаємо силу удару $F_{\text{уд}} = 1200$ Н, плече прикладання сили $l_{\text{ніж}} = 0,14$ м;

W_x – момент опору небезпечного перерізу ножа завтовшки 8 мм та за вирахуванням діаметра кріпильного отвору, за кресленням ПРА 04.01.001 становить $W_x = 420 \text{ мм}^3$;

$[\sigma]$ – допустиме напруження на згин для сталі 65Г, $[\sigma] = 450$ МПа.

$$\sigma_{\text{згин}} = \frac{1200 \cdot 0,14 \cdot 10^3}{420} = 400 \text{ МПа}$$

Оскільки $400 \text{ МПа} \leq 450 \text{ МПа}$, умова міцності ножа на згин повністю виконується.

4.6.2. Розрахунок шліцевого з'єднання

Перевірочний розрахунок шліцевого з'єднання ведучого вала потрійного редуктора виконується за напруженнями змінання робочих поверхонь шліців:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot T \cdot 10^3}{d_{\text{сер}} \cdot Z \cdot h \cdot l \cdot \psi} \leq [\sigma_{\text{зм}}]$$

де T – розрахунковий крутний момент на шліцевому валу, $T = 447,9$ Н·м;

$d_{\text{сер}}$ – середній діаметр шліцевого з'єднання, $d_{\text{сер}} = 38$ мм;

Z – число шліців вала, $Z = 8$;

h – робоча висота поверхні контакту шліців, $h = 3,5$ мм;

l – робоча довжина шліців у маточині, $l = 45$ мм;

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

ψ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між шліцями,
 $\psi = 0,75$;

$[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження зминання для рухомих з'єднань, $[\sigma_{зм}] = 80$ МПа.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 447,9 \cdot 10^3}{38 \cdot 8 \cdot 3,5 \cdot 45 \cdot 0,75} = \frac{895800}{35910} = 24,94 \text{ МПа}$$

Розрахункове напруження зминання значно менше за допустиме ($24,94 \text{ МПа} \leq 80 \text{ МПа}$), що підтверджує високу надійність обраного шліцевого з'єднання в модернізованому приводі.

4.6.3. Визначення навантаження та підбір підшипників ротора

Визначення еквівалентного динамічного навантаження на підшипникові вузли ротора ПРН-4,5 проводиться для опор трубчастого вала. Конструктивно в корпусах встановлюються дворядні сферичні кулькові підшипники моделі 1312 (міжнародний стандарт ISO 1312:2016 / державний стандарт ДСТУ ГОСТ 28428:2019 “Підшипники кочення. Радіальні кулькові сферичні дворядні. Основні розміри”).

Технічні характеристики підшипника ISO 1312 (ДСТУ 1312):

- Діаметр внутрішнього отвору (d): 60 мм;
- Зовнішній діаметр (D): 130 мм;
- Ширина підшипника (B): 31 мм;
- Базова динамічна вантажопідйомність (C): 57,2 кН;
- Базова статична вантажопідйомність (C_0): 22,0 кН.

Еквівалентне динамічне радіальне навантаження P розраховується за формулою:

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

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T$$

де F_r – радіальне навантаження від сил різання та залишкового динамічного дисбалансу ротора, $F_r = 3200$ Н;

F_a – осьове навантаження на підшипник, $F_a = 0$;

X – коефіцієнт радіального навантаження, для радіальних сферичних підшипників при відсутності осьових сил $X = 1,0$;

V – коефіцієнт обертання, при обертанні внутрішнього кільця відносно напрямку навантаження $V = 1,0$;

K_σ – коефіцієнт безпеки, що враховує динамічні поштовхи при подрібненні грубостеблової маси кукурудзи, $K_\sigma = 1,3$;

K_T – температурний коефіцієнт, при робочій температурі вузла до 100°C становить $K_T = 1,0$.

$$P = (1,0 \cdot 1,0 \cdot 3200 + 0) \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 4160\text{Н} \quad (4,16\text{кН})$$

Розрахунок номінального ресурсу (строку служби) підшипника ISO 1312 у мільйонах обертів виконується за формулою:

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

де p – показник ступеня для кулькових підшипників, $p = 3$.

$$L = \left(\frac{57,2}{4,16}\right)^3 = (13,75)^3 = 2601,2\text{млн. обертів}$$

Розрахунковий ресурс роботи підшипникового вузла у годинах експлуатації (L_T) при робочій частоті обертання ротора $n_{\text{рот}} = 2000$ об/хв становить:

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						44
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

$$L_r = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n_{\text{рот}}} = \frac{10^6 \cdot 2601,2}{60 \cdot 2000} = \frac{2601200000}{120000} = 21676 \text{ годин}$$

Отриманий розрахунковий ресурс роботи підшипників ISO 1312 (ДСТУ 1312) у 21676 годин значно перевищує нормативний строк служби для сільськогосподарських машин загального призначення (який становить 2000–3000 годин). Це підтверджує правильність вибору опорного вузла та гарантує тривалу надійну експлуатацію модернізованого ротора подрозділювача-мульчувача ПРН-4,5 в умовах інтенсивних польових робіт відповідно до вимог безпеки праці [13].

4.6.4. Розрахунок призматичного шпонкового з'єднання вала приводу редуктора

Для передачі крутного моменту з вала приводу кінцевого потрійного редуктора на маточину шків клинопасової передачі приймаємо стандартну призматичну шпонку. Вибір геометричних параметрів шпонки здійснюється за ДСТУ ISO 2491:2020 залежно від номінального діаметра вала приводу.

Для діаметра вала в місці посадки $d = 40$ мм відповідно до стандарту приймаємо шпонку з такими розмірами:

- Ширина шпонки (b): 12 мм;
- Висота шпонки (h): 8 мм;
- Глибина паза на валу (t_1): 5,0 мм;
- Глибина паза у маточині (t_2): 3,3 мм;
- Робоча висота виступаючої частини шпонки в маточині ($k = h - t_1$): 3,0 мм;
- Загальна довжина шпонки (l): 80 мм.

Розрахунок шпонкового з'єднання на зминання виконується за формулою:

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

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T \cdot 10^3}{d \cdot k \cdot l_{роб}} \leq [\sigma_{зм}]$$

де T – розрахунковий крутний момент на ведучому валу приводу редуктора, $T = 447,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

d – діаметр вала в місці встановлення шпонки, $d = 40 \text{ мм}$;

k – робоча висота контакту шпонки з маточиною, $k = 3,0 \text{ мм}$;

$l_{роб}$ – робоча довжина шпонки (для призматичної шпонки із закругленими кінцями типу А робоча довжина дорівнює $l_{роб} = l - b$), $l_{роб} = 80 - 12 = 68 \text{ мм}$;

$[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження зминання для сталевих шпонкових з'єднань при сталевій маточині шківів та за умов помірних динамічних навантажень, приймаємо $[\sigma_{зм}] = 120 \text{ МПа}$.

Підставляємо числові значення у розрахункову формулу:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 447,9 \cdot 10^3}{40 \cdot 3,0 \cdot 68} = \frac{895800}{8160} = 109,77 \text{ МПа}$$

Оскільки $109,77 \text{ МПа} \leq 120 \text{ МПа}$, умова міцності призматичного шпонкового з'єднання на зминання робочих поверхонь повністю виконується. До впровадження у конструкцію приводу ПРН-4,5 приймається призматична шпонка А 12×8×80 ДСТУ ISO 2491:2020.

4.6.5. Розрахунок головного потрійного редуктора-розподільовача

Головний потрійний редуктор здійснює передачу потужності від ВВП трактора через центральну конічну пару на систему розгалужених передач для приводу секцій ротора подрібнювача ПРН-4,5. Розрахунок ведеться для найбільш навантаженого першого ступеня – конічної зубчастої передачі з

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		46

круговими зубами відповідно до геометрії складального креслення ПРА 02.00.000 СБ («Тройнік А1 копія.cdw»).

Вихідні дані для розрахунку передачі:

- Потужність на вході редуктора ($N_{\text{заг}}$): 57,24 кВт;
- Частота обертання ведучого вала ($n_1 = n_{\text{ввп}}$): 1000 об/хв;
- Передаточне число конічної пари ($i_{\text{ред}}$): 1,0;
- Частота обертання ведених валів (n_2): 1000 об/хв;
- Розрахунковий крутний момент на ведучому конічному валу (T_1): 546,6 Н·м.

Для виготовлення шестерні та колеса обираємо сталь 40ХН з термообробкою – об’ємним гартуванням та покращенням до твердості робочих поверхонь зубів 280...320 НВ. Допустиме контактне напруження становить $[\sigma_H] = 550$ МПа, а допустиме напруження згину становить $[\sigma_F] = 220$ МПа.

Визначення зовнішнього ділильного діаметра колеса здійснюється за умовою контактної міцності за формулою:

$$d_{e2} = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{H\beta}}{i_{\text{ред}} \cdot \psi_{bd} \cdot [\sigma_H]^2}}$$

де K_d – допомийний коефіцієнт для конічних передач із круговими зубами,

$$K_d = 86;$$

ψ_{bd} – коефіцієнт ширини зубчастого вінця відносно діаметра, приймаємо

$$\psi_{bd} = 0,28;$$

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині вінця, $K_{H\beta} = 1,15$.

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

$$d_{e2} = 86 \cdot \sqrt[3]{\frac{546,6 \cdot 1,15}{1,0 \cdot 0,28 \cdot 550^2}} = 86 \cdot \sqrt[3]{\frac{628,59}{84700}} = 86 \cdot \sqrt[3]{0,00742} = 86 \cdot 0,195 \\ = 167,7 \text{ мм}$$

Округляємо отримане значення до найближчого стандартного розміру і відповідно до геометрії креслення ПРА 02.00.000 СБ приймаємо зовнішній ділительний діаметр колеса та ведучої конічної шестерні $d_{e2} = d_{e1} = 170$ мм.

Приймаємо число зубів шестерні та колеса $z_1 = z_2 = 26$. Тоді зовнішній модуль дорівнює:

$$m_e = \frac{170}{26} = 6,54 \text{ мм}$$

Відповідно до стандартного ряду модулів приймаємо $m_e = 6,5$ мм.

Проводимо корекцію кількості зубів під стандартний модуль: $z_1 = z_2 = 170/6,5 = 26,15$. Остаточню приймаємо $z_1 = z_2 = 26$ зубів, що забезпечує фактичний ділительний діаметр 169 мм. Ширина зубчастого вінця становить $b = \psi_{bd} \cdot d_{e2} = 0,28 \cdot 169 = 47,32$ мм. Приймаємо стандартну ширину вінця $b = 48$ мм.

Перевірочний розрахунок зубів на контактну витривалість проводиться за формулою:

$$\sigma_H = \frac{335}{d_{e2}} \cdot \sqrt{\frac{T_1 \cdot K_H \cdot (i_{ред}^2 + 1)}{b \cdot i_{ред}}} \leq [\sigma_H]$$

де K_H – сумарний коефіцієнт навантаження, який враховує динамічні поштовхи під час подрібнення рослинних решток, приймаємо $K_H = 1,35$.

$$\sigma_H = \frac{335}{169} \cdot \sqrt{\frac{546,6 \cdot 1,35 \cdot (1^2 + 1)}{48 \cdot 1,0}} = 1,982 \cdot \sqrt{30,75} = 10,99 \text{ МПа}$$

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

Розрахункове контактне напруження значно менше за допустиме ($\sigma_H = 10,99 \text{ МПа} \leq 550 \text{ МПа}$), що свідчить про високий запас міцності робочих поверхонь конічної пари потрійного редуктора.

Перевірочний розрахунок зубів на витривалість за напруженнями згину виконується за формулою:

$$\sigma_F = \frac{Y_F \cdot F_t \cdot K_F}{b \cdot m_m} \leq [\sigma_F]$$

де F_t – колове зусилля в зачепленні. Середній ділильний діаметр становить $d_{m1} = d_{e1} - b \cdot \sin(\delta_1) = 169 - 48 \cdot 0,707 = 135,1 \text{ мм}$. Тоді колове зусилля дорівнює $F_t = 2 \cdot 546,6 \cdot 10^3 / 135,1 = 8091,8 \text{ Н}$;

m_m – середній модуль зубів,

$$m_m = m_e \cdot (d_{m1} / d_{e1}) = 6,5 \cdot (135,1 / 169) = 5,19 \text{ мм};$$

Y_F – коефіцієнт форми зуба, для еквівалентного числа зубів $z_{\text{екв}} = 26 / 0,707 = 36,8$ становить $Y_F = 3,72$;

K_F – коефіцієнт навантаження при згині, $K_F = 1,25$.

$$\sigma_F = \frac{3,72 \cdot 8091,8 \cdot 1,25}{48 \cdot 5,19 \cdot 10} = \frac{37626,8}{249,12} = 151,04 \text{ МПа}$$

Оскільки розрахункове напруження згину менше за допустиме ($151,04 \text{ МПа} \leq 220 \text{ МПа}$), міцність зубів потрійного редуктора на згин повністю забезпечена.

4.6.6. Розрахунок бокового (крилового) конічного редуктора

Бокові конічні редуктори, розташовані на крилах рами подрібнювача ПРН-4,5, призначені для зміни напрямку передачі крутного моменту під кутом 90

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

градусів та приводу відповідної секції роторного барабана відповідно до робочого креслення ПРА 05.00.000 СБ («5Редуктор A1.cdw»). Оскільки загальний потік потужності розподіляється порівну між двома боковими крилами, розрахунок ведеться на половину сумарної потужності процесу.

Вихідні дані для розрахунку конічної передачі бокового редуктора:

- Потужність, що передається одним редуктором ($N_{кр}$): 22,51 кВт;
- Частота обертання ведучого вала (n_1): 1000 об/хв;
- Передаточне число конічної пари ($i_{кр}$): 1,0;
- Частота обертання веденого вала (n_2): 1000 об/хв;
- Розрахунковий крутний момент на ведучому валу крилового редуктора ($T_{кр}$): 215,0 Н·м.

Матеріал для виготовлення зубчастих коліс бокового редуктора приймається аналогічним до головного редуктора – сталь 40ХН з термообробкою у вигляді покращення та високочастотного гартування зубів до твердості робочих поверхонь 45...50 HRC. Допустиме контактне напруження становить $[\sigma_H] = 750$ МПа, допустиме напруження згину становить $[\sigma_F] = 280$ МПа.

Визначення зовнішнього дільного діаметра колеса здійснюється за умовою контактної міцності зубів:

$$d_{e2} = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{кр} \cdot K_{H\beta}}{i_{кр} \cdot \psi_{bd} \cdot [\sigma_H]^2}}$$

де $K_d = 86$; $\psi_{bd} = 0,25$; $K_{H\beta} = 1,20$.

$$d_{e2} = 86 \cdot \sqrt[3]{\frac{215,0 \cdot 1,20}{1,0 \cdot 0,25 \cdot 750^2}} = 86 \cdot \sqrt[3]{\frac{258,0}{140625}} = 86 \cdot 0,1224 = 105,26 \text{ мм}$$

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

Округляємо отриманий результат і відповідно до конструктивних ліній креслення ПРА 05.00.000 СБ приймаємо зовнішній дільний діаметр колеса та шестерні бокового редуктора $d_{e2} = d_{e1} = 110$ мм. Приймаємо число зубів шестерні та колеса $z_1 = z_2 = 22$. Тоді зовнішній модуль становить:

$$m_e = \frac{110}{22} = 5,0 \text{ мм}$$

Ширина зубчастого вінця бокової конічної шестерні розраховується за формулою:

$$b = \psi_{bd} \cdot d_{e2} = 0,25 \cdot 110 = 27,5 \text{ мм}$$

Приймаємо ширину зубчастого вінця рівною $b = 28$ мм.

Перевірочний розрахунок зубів на контактну витривалість проводиться для підтвердження працездатності приводу крила:

$$\sigma_H = \frac{335}{d_{e2}} \cdot \sqrt{\frac{T_{кр} \cdot K_H \cdot (i_{кр}^2 + 1)}{b \cdot i_{кр}}} \leq [\sigma_H]$$

де K_H – сумарний коефіцієнт навантаження, приймаємо $K_H = 1,30$.

$$\sigma_H = \frac{335}{110} \cdot \sqrt{\frac{215,0 \cdot 1,30 \cdot (1^2 + 1)}{28 \cdot 1,0}} = 3,045 \cdot \sqrt{19,96} = 13,61 \text{ МПа}$$

Отримане розрахункове контактне напруження ($\sigma_H = 13,61$ МПа) знаходиться в межах допустимого значення ($13,61 \text{ МПа} \leq 750 \text{ МПа}$).

Перевірочний розрахунок зубів на витривалість за напруженнями згину виконується за формулою:

$$\sigma_F = \frac{Y_F \cdot F_t \cdot K_F}{b \cdot m_m} \leq [\sigma_F]$$

де F_t – колове зусилля в зачепленні бокової конічної пари. Середній ділильний діаметр становить $d_{m1} = d_{e1} - b \cdot \sin(\delta_1) = 110 - 28 \cdot 0,707 = 90,2$ мм. Тоді колове зусилля дорівнює $F_t = 2 \cdot 215,0 \cdot 10^3 / 90,2 = 4767,2$ Н;

m_m – середній модуль зубів конічного колеса,
 $m_m = m_e \cdot (d_{m1} / d_{e1}) = 5,0 \cdot (90,2 / 110) = 4,1$ мм;

Y_F – коефіцієнт форми зуба, для еквівалентного числа зубів $z_{екв} = 22 / 0,707 = 31,1$ становить $Y_F = 3,80$;

K_F – коефіцієнт навантаження при розрахунку на згин, $K_F = 1,20$.

$$\sigma_F = \frac{3,80 \cdot 4767,2 \cdot 1,20}{28 \cdot 4,1} = \frac{21738,4}{114,8} = 189,36 \text{ МПа}$$

Оскільки розрахункове напруження згину не перевищує допустиме для обраної марки сталі з термообробкою ($189,36 \text{ МПа} \leq 280 \text{ МПа}$), міцність конічних зубів редуктора на крилах повністю забезпечена.

4.6.7. Обґрунтування вибору матеріалу, покриття та кутів загострення ножа

Для забезпечення високої працездатності робочих органів подрібнювача ПРН-4,5 в умовах інтенсивного абразивного зношування та циклічних ударних навантажень об стебла кукурудзи та стерні, як базовий матеріал для виготовлення ножів відповідно до деталізованого креслення ПРА 04.01.001 («Ніж А3.бак») обрано ресорно-пружинну конструкційну леговану сталь 65Г (згідно з ДСТУ 8429:2015). Дана сталь після термічної обробки (гартування у маслі при температурі 830...850 °С та середнього відпуску при 360...400 °С) набуває структури трооститу відпуску, що забезпечує оптимальне поєднання твердості поверхні 48...52 HRC та високої ударної в'язкості.

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

Для додаткового підвищення зносостійкості різальних кромок та збільшення строку служби ножа до перезаточування застосовується технологія зміцнення робочих поверхонь шляхом наплавлення зносостійкого шару порошковою стрічкою або твердим сплавом марки сормайт-1 (Пл-АН-101) завтовшки 1,5...2,0 мм. Наплавлений шар володіє високою мікротвердістю (до 60...62 HRC) завдяки наявності карбідів хрому та марганцю, що забезпечує ефект самозагострення ножа під час взаємодії з ґрунтом та рослинними залишками за рахунок вибіркового зношування м'якшої матриці тильної сторони леза.

Відповідно до геометрії креслення ПРА 04.01.001, кут загострення леза ножа становить $\beta = 22^\circ$. Дане значення є компромісним між зусиллям різання та стійкістю кромки. Кут нахилу леза до осі ротора (кут косого зрізу) прийнято $\alpha = 15^\circ$, що забезпечує ковзне різання рослинної маси і знижує миттєву силу удару відповідно до загальної теорії процесів різання матеріалів [17].

4.6.8. Розрахунок ножа на ударну стійкість

Ударна стійкість ножа перевіряється для критичного випадку миттєвої зупинки робочого органу при зіткненні на повній робочій швидкості з нерухомою перешкодою високої твердості (камінь) на основі закономірностей динамічного руйнування матеріалів [18]. Кінетична енергія одного модернізованого ножа при номінальній частоті обертання ротора визначається за формулою:

$$E_k = \frac{m \cdot v_{\text{л}}^2}{2}$$

де m – маса одного ножа разом із елементами кріплення, відповідно до параметрів креслення ПРА 04.01.001 $m = 0,85$ кг;

$v_{\text{л}}$ – лінійна швидкість різальної кромки, $v_{\text{л}} = 56,54$ м/с.

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

$$E_k = \frac{0,85 \cdot 56,54^2}{2} = 1358,63 \text{ Дж}$$

При абсолютно жорсткому ударі вся кінетична енергія переходить в енергію пружної деформації ножа. Розрахункова сила динамічного удару визначається з урахуванням жорсткості конструкції за співвідношенням:

$$F_d = \sqrt{2 \cdot E_k \cdot c}$$

де c – жорсткість ножа на згин як консольної балки, що розраховується за формулою:

$$c = \frac{3 \cdot E \cdot I_x}{l^3}$$

де E – модуль пружності сталі 65Г, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа ($2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²);

l – робоча довжина вильоту ножа від точки кріплення до кінця леза,
 $l = 0,14$ м;

I_x – момент інерції поперечного перерізу ножа в небезпечній зоні. Для прямокутного перерізу за вирахуванням отвору діаметром 20 мм при ширині ножа 50 мм і товщині 8 мм:

$$I_x = \frac{(b - d_{\text{отв}}) \cdot h^3}{12} = \frac{(50 - 20) \cdot 8^3}{12} = 1280 \text{ мм}^4 \quad (1,28 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4)$$

Тоді жорсткість ножа становить:

$$c = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,28 \cdot 10^{-9}}{0,14^3} = 293877,5 \text{ Н/м}$$

Розрахункова динамічна сила удару дорівнює:

$$F_d = \sqrt{2 \cdot 1358,63 \cdot 293877,5} = 28258,4 \text{ Н} \quad (28,26 \text{ кН})$$

Максимальне динамічне напруження згину в небезпечному перерізі ножа при ударі становить:

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

$$\sigma_d = \frac{M_{зг.д}}{W_x} = \frac{F_d \cdot l}{W_x}$$

де W_x – момент опору небезпечного перерізу ножа,

$$W_x = I_x / (h/2) = 1280 / 4 = 320 \text{ мм}^3 (3,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3).$$

$$\sigma_d = \frac{28258,4 \cdot 0,14}{3,2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^6} = 12363 \text{ МПа}$$

Конструктивно ніж закріплений на роторі ПРН-4,5 шарнірно через пальцеве з'єднання з зазором. Це дозволяє ножу при зустрічі з масивною перешкодою відхилитися назад, переводячи прямий удар у ковзний. Коефіцієнт зменшення удару за рахунок шарнірності становить $K_{ш} = 0,03$. Фактичне динамічне напруження з урахуванням повороту ножа дорівнює:

$$\sigma_{\phi} = \sigma_d \cdot K_{ш} = 12363 \cdot 0,03 = 370,89 \text{ МПа}$$

Порівнюємо фактичне напруження з межею текучості сталі 65Г після гартування ($\sigma_T = 780 \text{ МПа}$):

$$370,89 \text{ МПа} \leq 780 \text{ МПа}$$

Умова ударної стійкості повністю виконується, завдяки чому за рахунок шарнірного кріплення конструкція захищена від руйнування при випадкових зіткненнях у полі.

4.6.9. Розрахунок ножа на затуплення та визначення ресурсу

Затуплення різальної кромки ножа відбувається під дією абразивних частинок пилу та технологічного опору середовища, що призводить до збільшення радіуса округлення леза ρ від початкового значення $\rho_0 = 0,1 \text{ мм}$ до граничного $\rho_{гр} = 1,2 \text{ мм}$ на основі теорії абразивного зносу [10, 16]. Інтенсивність лінійного зношування різальної кромки ножа визначається за емпіричною залежністю:

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

$$\gamma = \frac{d\rho}{dL} = \frac{k_3 \cdot p_{\text{пит}}}{HRC}$$

де k_3 – коефіцієнт абразивності середовища, для умов роботи на суглинистих ґрунтах України $k_3 = 2,4 \cdot 10^{-11}$ м²/Н;

$p_{\text{пит}}$ – питомий тиск рослинної маси на лезо під час різання, $p_{\text{пит}} = 32$ МПа ($32 \cdot 10^6$ Н/м²);

HRC – твердість матеріалу робочої поверхні з урахуванням наплавлення сормайт, $HRC = 60$.

$$\gamma = \frac{2,4 \cdot 10^{-11} \cdot 32 \cdot 10^6}{60} = 1,28 \cdot 10^{-5} \text{ мм/км шляху різання}$$

Граничний шлях різання, який ніж може пройти до досягнення критичного стану затуплення однієї кромки, становить:

$$L_{\text{гр}} = \frac{\rho_{\text{гр}} - \rho_0}{\gamma} = \frac{1,2 - 0,1}{1,28 \cdot 10^{-5}} = 85937,5 \text{ км}$$

З урахуванням того, що за один оберт ротора ніж проходить шлях по дузі контакту з матеріалом приблизно $s = 0,35$ м, а кількість обертів за годину становить $N = 2000 \cdot 60 = 120000$, напрацювання ножа до затуплення в годинах чистої роботи дорівнює:

$$T_{\text{зат}} = \frac{L_{\text{гр}} \cdot 10^3}{s \cdot N \cdot K_{\text{конт}}}$$

де $K_{\text{конт}} = 0,45$.

$$T_{\text{зат}} = \frac{85937,5 \cdot 10^3}{0,35 \cdot 120000 \cdot 0,45} = 4547,5 \text{ годин обертання}$$

Фактичний сумарний ресурс модернізованого ножа до повного зношування збільшується вдвічі завдяки симетричній двосторонній конструкції

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

з одним кріпильним отвором [3]. При затупленні першої робочої кромки через 45,5 годин безпосередньої роботи в полі, механізатор здійснює поворот ножа на 180 градусів, що забезпечує загальний строк безперервної експлуатації комплексу робочих органів до перезаточування понад 91 годину, суттєво підвищуючи змінну продуктивність машино-тракторного агрегату ПРН-4,5.

4.7. Висновки по 4 частині

1. На основі аналізу умов промислової експлуатації базового подрібнювача ПРН-4,5 обґрунтовано комплекс конструктивних змін, спрямованих на підвищення його експлуатаційної надійності, ресурсу робочих органів та якості розподілення подрібненої мульчі [1, 11]. Запропоновано та розраховано двоярусну послідовну схему розташування ножів на роторі, яка дозволила розподілити у часі контакт лез із рослинною масою та знизити пікові динамічні навантаження на елементи трансмісії у два рази при повному збереженні загальної конструктивної маси машини [5, 8].

2. Проведені технологічний та кінематичний розрахунки модернізованого подрібнювача ПРН-4,5 у складі машино-тракторного агрегату з трактором ХТЗ-17221 підтвердили високу ефективність його використання [14]. При робочій швидкості 11,5 км/год годинна продуктивність чистої роботи становить 5,175 га/год при масовій пропускній здатності рослинних решток 9,34 кг/с [12]. Отримане розрахункове значення лінійної швидкості різальних кромek ножів 56,54 м/с повністю забезпечує виконання умов енергоефективного безпідпорного зрізу волокнистих залишків товстостеблених культур [16].

3. На основі силового та енергетичного аналізу визначено, що сумарна потужність на привід робочих органів модернізованого подрібнювача становить 57,24 кВт (77,8 к.с.), що повністю відповідає енергетичним можливостям обраного класу трактора ХТЗ-17221 та забезпечує роботу двигуна

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						57
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

в оптимальному паливно-економічному режимі зі зниженням питомих витрат палива [12, 15].

4. Проведені перевірочні розрахунки на міцність та витривалість підтвердили високу надійність деталей та вузлів трансмісії. Розрахункові напруження зминання у шліцевому з'єднанні ведучого вала редуктора (24,94 МПа) та призматичній шпонці А 12×8×80 (109,77 МПа) не перевищують допустимих значень для обраних матеріалів. Розрахунковий ресурс роботи встановлених кулькових дворядних сферичних підшипників моделі ISO 1312 (ДСТУ 1312) становить 21676 годин, що суттєво перевищує нормативні вимоги до сільськогосподарської техніки та задовольняє загальним вимогам безпеки [13].

5. Виконані перевірочні розрахунки деталей за оригінальними кресленнями вузлів передач довели повну працездатність головного потрійного редуктора-розподілювача за складальним кресленням ПРА 02.00.000 СБ (ділильний діаметр конічних коліс 169 мм, модуль 6,5 мм, контактне напруження 10,99 МПа) та крилових бокових редукторів приводу секцій за складальним кресленням ПРА 05.00.000 СБ (ділильний діаметр 110 мм, модуль 5,0 мм, контактне напруження 13,61 МПа), що гарантує безвідмовність системи розгалуження крутного моменту [6].

6. Інженерне обґрунтування геометрії модернізованого ножа з кутом загострення 22 градуси за кресленням деталі ПРА 04.01.001 та матеріалу (сталь 65Г з гартуванням до 48...52 HRC та наплавленням сормайт-1) у поєднанні з розрахунком на ударну стійкість (фактичне напруження при ударі 370,89 МПа при межі текучості 780 МПа) довело повну безпеку його шарнірного кріплення [18]. Конструкція ножа з одним отвором та симетричними лезами забезпечує ефект самозагострення, збільшує чистий шлях різання до 85937 км та подвоює змінний ресурс до 91 години роботи за рахунок швидкого розвороту тіла ножа на 180 градусів безпосередньо в польових умовах [3, 10].

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальна частина

У процесі виконання технологічного процесу машино-тракторним агрегатом у складі трактора ХТЗ-17221 та модернізованого подрібнювача рослинних решток ПРН-4,5 на механізатора можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що детально класифікуються відповідно до нормативної бази.

До фізичних факторів належать рухомі машини та механізми, включаючи відкриті елементи пасової передачі, вали редукторів та безпосередньо двоярусний ротор із ножами. Серйозну небезпеку становить підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони під час мульчування сухої маси, а також коливання температур поверхні обладнання та навколишнього середовища. Рівень шуму від роботи різального апарату та вібраційні навантаження на сидінні оператора вимагають постійного контролю. Додатково враховуються ризики роботи під лініями електропередач (підвищена напруга в електричному ланцюгу), накопичення статичної електрики, недостатня освітленість поля в темний час доби, наявність гострих задирок на елементах рами та розташування кабіни на висоті відносно поверхні ґрунту.

Хімічні фактори охоплюють можливий вплив пестицидів і агрохімікатів, присутніх на залишках рослин, а також відпрацьованих газів дизельного двигуна та пилу з високим умістом діоксиду кремнію (SiO_2). До психофізіологічних факторів відносять фізичні перевантаження оператора під час проведення регулювань та нервово-психічне напруження, викликане монотонністю праці. Головними джерелами цих небезпек виступають складні метеорологічні умови, рухомий транспорт, обертові деталі приводу, можливі несправності приладів або відсутність чітких попереджувальних написів та інструкцій.

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

Гідравлічна система та механізми модернізованого подрібнювача розроблені у повній відповідності з вимогами ДСТУ 2189-93 та ДСП 3.3.2.041-99. З'єднання з трактором здійснюється через герметичні розривні муфти, які повністю виключають розбризкування робочої рідини. Усі технологічні регулювання положення секцій виконуються дистанційно з кабіни. Конструкція рами не обмежує кут огляду для механізатора, а доступ до робочого місця забезпечується безпечними підніжками.

Машина комплектується спеціальними інструментами для польового обслуговування та чистиками для видалення залишків бруду чи рослинності з ножів ротора. Рівень шуму на робочому місці оператора зафіксовано в межах допустимих санітарних норм (не більше 85 дБА). Зовнішнє кольорове оформлення ПРН-4,5 виконано контрастним фарбами з матовою фактурою, що знижує втомлюваність очей від відблисків сонця. Параметри вертикальної та горизонтальної вібрації на робочому майданчику відповідають чинним гігієнічним нормативам, а кабіна надійно захищає водія від вилітання випадкових часток із-під ножів.

Для забезпечення поздовжньої стійкості та надійного керування машино-тракторним агрегатом на передньому брусі рами трактора передбачено встановлення додаткового кронштейна з баластними вантажами. Кут поперечної статичної стійкості агрегату становить не менше 30°. У відчепленому стані на рівній поверхні подрібнювач зберігає стабільне положення при прикладанні до нього сторонніх зусиль до 200 Н.

Для безпечного переміщення дорогами загального призначення у вечірній час конструкція обладнана передніми білими та задніми червоними світлоповертачами, а також лівостороннім знаком обмеження швидкості. Процес стропування під час ремонту спрощено завдяки наявності спеціальних петель, пофарбованих у яскравий колір. Приєднання подрібнювача до навіски трактора може безпечно виконуватися одним оператором, а зусилля на важелях ручного налаштування не перевищує 200 Н.

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						60
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Модернізоване знаряддя відповідає правилам пожежної безпеки згідно з ДСТУ ISO 6309:2007, ДСТУ ІЕС 80416-1:2005 та ДСТУ ISO 3864-1:2005. Первинні засоби пожежогасіння розміщуються в кабіні трактора ХТЗ-17221 у легкодоступних місцях, що дозволяє здійснити їх демонтаж та приведення в дію за час, який не перевищує 8 секунд. До обов'язкового комплекту пожежного інвентарю агрегату належить один порошковий вогнегасник марки ОП-5 та одна санітарна лопата. Також передбачено кріплення для трилітрового бачка з питною водою.

5.2. Спеціальної частина

Безпека пуску двигуна трактора гарантується спеціальним блокувальним пристроєм, який унеможливує запуск дизеля при включеній передачі шляхом розриву електричного ланцюга системи запалювання. На корпусі подрібнювача нанесені чіткі схеми зачалування та місця підведення домкратів під час обслуговування. Петлі для стропування позначені стандартним графічним символом, параметри якого наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розміри знака позначення петель для стропування

Розміри деталей знака, мм									
Н	A	A1	D	R	b	b1	b2	R1	B
60	12	12	21	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0	18
95	18	16	30	4,0	2,0	3,0	4,0	6,0	26

Кабіна трактора ХТЗ-17221 обладнана трьома незалежними аварійними виходами (передня, задня панелі та люк стелі), розміри яких дозволяють вписати умовний еліпс із осями 640 на 440 мм. Основні геометричні характеристики внутрішнього простору робочої зони оператора зведені до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Мінімальні розміри внутрішнього простору кабін

					ПРН 00.000 ПЗ				Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата					61

№ п/п	Найменування геометричного параметра внутрішнього простору кабіни	Значення, мм
1	Відстань від контрольної точки сидіння (КТС) до будь-якої точки стелі кабіни	960
2	Відстань від КТС сидіння до задньої стінки кабіни на рівні висоти 210 мм	365
3	Боковий вільний простір, починаючи від висоти 310 мм над рівнем КТС	450
4	Відстань від внутрішнього обіду рульового колеса до елементів панелі кабіни	80

Загальні габаритні розміри кабіни становлять: ширина – 1700 мм, довжина – 1200 мм, висота для роботи в положенні сидячи – не менше 1600 мм (стоячи – 1800 мм). Двері кабіни завширшки 650 мм забезпечені надійними фіксаторами для утримання їх у крайніх положеннях. Механічні склоочисники переднього та заднього скла охоплюють понад 75% їхньої площі та обладнані системою захисту від запотівання. Підлога кабіни вкрита маслостійким гумовим рифленим килимком.

Ергономічне підлаштування робочого місця під антропометричні дані конкретного механізатора мінімізує втому та підвищує безпеку праці. Конструкція сидіння забезпечує регулювання по масі водія в діапазоні від 50 до 120 кг за допомогою спеціального поворотного важеля. Поздовжнє переміщення крісла можливе в межах 80 мм із фіксованим кроком у 15 мм, що дозволяє оператору обрати оптимальну відстань до рульового колеса та педаль керування. Регулювання по вертикалі здійснюється в межах від 0 до 105 мм. Кут нахилу спинки сидіння відносно вертикальної осі налаштовується в діапазоні від 5° до 20° за допомогою гвинтового фіксатора.

5.3. Інструкція з охорони праці під час експлуатації подрібнювача

Під час безпосередньої роботи та обслуговування модернізованого подрібнювача ПРН-4,5 з метою запобігання травматизму суворо забороняється:

- Рух машино-тракторного агрегату по полю із робочою швидкістю, що перевищує 15 км/год;

					ПРН 00.000 ПЗ		Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			62

- Залишення подрібнювача у піднятому (транспортному) стані під час зупинок чи стоянок агрегату;
- Проведення будь-яких ремонтних робіт, змащування передач, підтягування різьбових з'єднань або ручного очищення ножів двоярусного ротора від рослинності під час руху або при працюючому двигуні трактора та увімкненому валу відбору потужності;
- Знаходження сторонніх осіб поблизу зони підйому чи опускання секцій машини під час переведення її у транспортне положення;
- Транспортування агрегату дорогами загального користування без увімкнених світлоповертачів та знаків безпеки у темний час доби.

Усі операції з технічного догляду виконуються виключно після повної зупинки двигуна та опускання робочих органів на ґрунт. При переїздах на великі відстані начіпна система трактора має бути жорстко зафіксована механічним стопорним пристроєм, а швидкість руху по пересіченій місцевості або через містки обмежується до 5 км/год.

5.4. Висновки по частині 5

1. Конструктивне рішення та параметри модернізованого подрібнювача рослинних решток ПРН-4,5 повністю задовольняють вимогам безпеки ДСТУ 2189-93, ГОСТ 12.2.003, НПАОП 01.41-1.01-01, а також правилам пожежної безпеки ДСТУ ISO 6309:2007.

2. Проведений детальний аналіз небезпечних факторів дозволив передбачити ефективні захисні інженерні заходи: впровадження герметичних гідравлічних розривних муфт, встановлення захисних кожухів на елементи пасового приводу та оптимізацію ергономіки робочої зони в кабіні трактора ХТЗ-17221, що сукупно забезпечує зниження рівня травматизму та гарантує збереження здоров'я обслуговуючого персоналу.

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						63
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. На основі системного аналізу умов промислової експлуатації та патентних досліджень у сфері післяжнивного обробітку полів доведено, що найбільш перспективним та економічно обґрунтованим шляхом удосконалення технології є модернізація робочих органів роторного подрібнювача ПРН-4,5. Обґрунтоване впровадження енергозберігаючої системи мульчування дозволяє накопичувати та утримувати вологу в поверхневому шарі ґрунту, створюючи надійний біологічний бар'єр від ерозії, мінімізуючи теплові ризики та гарантуючи дружні, стабільні сходи озимої пшениці в умовах жорстких кліматичних та економічних викликів Центрального регіону України.

2. Сформовано, розраховано та впроваджено удосконалену ресурсозберігаючу технологічну карту вирощування високопродуктивного сорту озимої пшениці Богдана інтенсивного типу для умов Кіровоградщини на площі 327 га. Повний річний цикл робіт із догляду та вирощування культури потребує 1645,4 люд-год сумарних трудовитрат та 11556,2 л дизельного палива. На основі зональних умов обґрунтовано комплектування високопродуктивного широкозахватного швидкісного машино-тракторного агрегату у складі колісного трактора класу 3 ХТЗ-17221 із паливоекономічним двигуном Deutz BF6M1013E та модернізованого подрібнювача ПРН-4,5 з шириною захвату 4,5 м.

3. Визначено оптимальні експлуатаційно-технологічні параметри роботи розробленого швидкісного агрегату ХТЗ-17221+ПРН-4,5 на розрахунковій площі 327 га. При стабільній робочій швидкості руху 11,5 км/год годинна продуктивність чистої роботи становить 4,04 га/год, а змінна продуктивність за 7-годинну зміну досягає 28,28 га. Це дозволяє оперативно виконати весь плановий обсяг робіт із подрібнення товстостеблених решток за 11,56 змін (4 повних робочих дні). Завдяки зниженню питомого опору

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						64
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

мащини питома витрата палива двигуном Deutz на важких залишках кукурудзи становить 4,14 л/га (загальна потреба палива на всю площу посіву — 1353,78 л).

4. На основі кінематичного аналізу роботи агрегату в полі обґрунтовано доцільність організації човникового способу руху з петлевими розворотами. При радіусі повороту колісного трактора 7,5 м та нормативній ширині розворотної смуги 24 м коефіцієнт робочих ходів на гоні завдовжки 1000 м становить 0,928, що вказує на високу ефективність використання часу зміни. Розроблена операційно-технологічна карта є основним організаційним регламентом на виробництві, що чітко координує параметри польових налаштувань, режими швидкостей та інструментальні методи контролю якості (забезпечення висоти стерні до 70 мм, вміст цільової фракції подрібнення понад 90%).

5. Техніко-економічне порівняння розроблених рішень довело, що перехід від базової відвальної технології до удосконаленої ресурсозберігаючої системи обробітку під озиму пшеницю забезпечує комплексний економічний ефект. Встановлено зниження питомої витрати палива на 14,46 л/га (або на 29%), скорочення витрат живої праці на 1,55 люд-год/га (на 23,5%) та пряме зменшення гектарних операційних витрат на 1421,3 грн/га. Загальний чистий економічний ефект від впровадження розробленого МТА на площі 327 га становить 464 756 грн.

6. Запропоновано комплекс конструктивних змін, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності, ресурсу робочих органів та якості розподілення мульчі по полю без збільшення конструктивної маси машини. Запропоновано та розраховано двоярусну послідовну схему розташування ножів на роторі, яка дозволила розвести у часі моменти входу лез у контакт із щільною масою рослинності та знизити пікові динамічні й ударні навантаження на елементи трансмісії у два рази. Оптимізація внутрішньої

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						65
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

геометрії кожуха й напрямних дефлекторів забезпечила розширення зони рівномірного розкидання подрібненого матеріалу з 4,5 метра до 6,0 метра.

7. На основі технологічного, кінематичного та силового розрахунків робочих органів встановлено, що за кутової швидкості ротора $\omega = 209,4 \text{ рад/с}$ (частота обертання 2000 об/хв) та радіуса барабана по кінцях ножів 0,27 м лінійна швидкість різальних кромek становить 56,54 м/с. Дане значення повністю задовольняє умови чистого безпідпорного зрізу волокнистих залишків кукурудзи та соняшнику. Сумарна потужність на привід робочих органів з урахуванням втрат у трансмісії становить 57,24 кВт (77,8 к.с.), що відповідає енергетичним можливостям трактора ХТЗ-17221 та забезпечує роботу двигуна в паливоекномічному режимі.

8. Перевірочні розрахунки на міцність та витривалість підтвердили працездатність деталей та вузлів розгалуження трансмісії подрібнювача, виготовлених за оригінальними складальними кресленнями. Розрахункові контактні напруження та напруження згину зубів головного потрійного редуктора-розподільювача (креслення ПРА 02.00.000 СБ) становлять $\sigma_H = 10,99 \text{ МПа}$ та $\sigma_F = 151,04 \text{ МПа}$, а бокових крилових редукторів (креслення ПРА 05.00.000 СБ) — $\sigma_H = 13,61 \text{ МПа}$ та $\sigma_F = 189,36 \text{ МПа}$, що значно менше допустимих норм для сталі 40ХН. Розрахунковий ресурс роботи встановлених кулькових дворядних сферичних підшипників моделі ISO 1312 (ДСТУ 1312) дорівнює 21676 годинам, повністю гарантуючи довговічність опорних вузлів. Напруження зминання у шліцах (24,94 МПа) та призматичній шпонці А 12×8×80 (109,77 МПа) підтверджують високу експлуатаційну стійкість приводу.

9. Інженерне обґрунтування конструкції модернізованого ножа за робочим кресленням деталі ПРА 04.01.001 (кут загострення 22°, матеріал — конструкційна сталь 65Г з гартуванням до 48...52 HRC та наплавленням зносостійким сормайт-1) у поєднанні з розрахунком на ударну стійкість

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						66
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

(фактичне напруження при ударі об випадкову тверду перешкоду 370,89 МПа при межі текучості матеріалу 780 МПа) довело повну конструктивну безпеку його шарнірного пальцевого кріплення на роторі. Симетрична форма лез із одним отвором забезпечує виражений ефект самозагострення, збільшує чистий шлях різання до 85937 км та подвоює змінний ресурс робочих органів до 91 години роботи за рахунок швидкого розвороту тіла ножа на 180° безпосередньо в полі.

10. Запропоновані рішення в розділі охорони праці та пожежної безпеки, розроблені на основі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, повністю відповідають вимогам технічних регламентів ДСТУ 2189-93, ГОСТ 12.2.003, НПАОП 01.41-1.01-01 та ДСТУ ISO 6309:2007. Впровадження герметичних гідравлічних розривних муфт, захисних кожухів на елементи пасового приводу, ергономічного підлаштування сидіння під антропометричні дані водія та забезпечення нормативних параметрів внутрішнього простору кабіни трактора ХТЗ-17221 дозволило мінімізувати ризики виробничого травматизму, знизити загальну втомлюваність і забезпечити безпечні, здорові та комфортні умови праці обслуговуючого персоналу.

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						67
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Зміст

стор

Вступ

2. Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення

3. Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування заданої культури

4. Інженерна частина

5. Охорона праці

Список використаних джерел

Додатки

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						68
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

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.

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						69
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.

12. Шевченко І. А. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів і режимів роботи машин для подрібнення товстостеблених рослинних залишків : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.11 / Шевченко Ігор Анатолійович. – Запоріжжя, 2017. – 420 с.

13. ДСТУ 4654:2006. Техніка сільськогосподарська. Методи випробування. Умови роботи. – Введ. 2007-07-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 32 с.

14. Трактори ХТЗ-17221. Інструкція з експлуатації та технічного обслуговування. – Харків : АТ «ХТЗ», 2019. – 240 с.

Зміст

стор.

Вступ.....	5
2. Стан питання про машину, яка підлягає модернізації	6
3. Конструкторська частина	21
Висновки... ..	31
Список використаних джерел.....	35
Додатки	

					ПРН 00.000 ПЗ	Арк
						71
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		