

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту
ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Проект використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого з
удосконаленням роботи збирально-транспортної ланки**

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-4-23 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Федорченко О.Ю.

Керівник: _____ Деркач Олексій Дмитрович
_____ Вітер Віталій Андрійович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Федорченку Олександрю Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого з удосконаленням роботи збирально-транспортної ланки керівники роботи к.т.н., доцент Деркач Олексій Дмитрович, асистент Вітер Віталій Андрійович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз технологічних особливостей вирощування ріпаку озимого, вивчення літературних джерел та сучасних досліджень щодо підвищення ефективності використання техніки під час збирання врожаю, удосконалення роботи збирально-транспортної ланки та застосування причепів-бункерів накопичувачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Аналіз технології вирощування ріпаку озимого та особливостей збирально-транспортної ланки. 2. Розробка операційної технології збирання ріпаку озимого. 3. Удосконалення причепа-бункера

накопичувача ПБН-16. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина. Загальні висновки. Використана література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. ПБН-16 (А1). 2. Модернізований шнек перевантажувального бункеру (А1). 3. Фланець привідного механізму (А3). 4. Верхнє кріплення осі шнека (А3) 5. Верхня опора гідроциліндру (А3). 6. Кріпильний кутник №16 (А3).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Деркач О.Д., доцент		
нормоконтроль	Деркач О.Д., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)		
2	Технологічний		
3	Конструкційний		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Графічна частина		

Студент

_____ (підпис)

Федорченко О.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Деркач О.Д.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вітер В.А.

_____ (прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Федорченко О.Ю. Проєкт використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого з удосконаленням роботи збирально-транспортної ланки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Метою роботи є підвищення ефективності використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого шляхом удосконалення роботи збирально-транспортної ланки та модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16.

У роботі виконано аналіз сучасного стану вирощування ріпаку озимого, розглянуто біологічні особливості культури та агротехнічні вимоги до її вирощування. Проведено аналіз сучасної техніки для збирання та транспортування врожаю ріпаку, досліджено особливості функціонування збирально-транспортних комплексів у сучасних умовах виробництва.

У конструктивній частині роботи проведено аналіз конструкції та технічних характеристик причепа-бункера накопичувача ПБН-16. Запропоновано модернізацію вивантажувального шнека шляхом застосування прискорювальної геометрії витків зі змінним кроком.

У результаті проведених досліджень встановлено, що використання модернізованого шнека дозволяє збільшити продуктивність перевантаження зерна з 138,3 до 177,3 т/год, що забезпечує підвищення продуктивності на 28,1 %. Час повного вивантаження бункера скорочується з 4,51 до 3,52 хв, що сприяє зменшенню простоїв збиральної техніки та підвищенню ефективності роботи всієї збирально-транспортної ланки.

Економічний та технологічний аналіз підтвердив доцільність впровадження запропонованої модернізації у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств.

Ключові слова: ріпак озимий, збирально-транспортна ланка, причіп-бункер накопичувач, ПБН-16, вивантажувальний шнек, модернізація, продуктивність перевантаження, операційно-технологічна карта, сільськогосподарська техніка, агроінженерія.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОЇ ЛАНКИ	9
1.1. Народногосподарське значення ріпаку озимого та сучасний стан його вирощування	9
1.2. Агротехнічні вимоги та біологічні особливості ріпаку озимого	13
1.3. Технологія вирощування ріпаку озимого	16
1.4. Висновки до розділу	20
2. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО	21
2.1. Аналіз технології збирання ріпаку озимого	21
2.2. Аналіз сучасної техніки для збирання та транспортування врожаю	24
2.3. Розробка операційно-технологічної карти збирання ріпаку озимого	28
2.4. Висновки до розділу	40
3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЧЕПА-БУНКЕРА НАКОПИЧУВАЧА ПБН-16	42
3.1. Аналіз конструкції та технічних характеристик ПБН-16	42
3.2. Обґрунтування модернізації вивантажувального шнека ПБН-16	44
3.3. Розрахунок модернізованого шнека ПБН-16	47
3.4. Висновок до розділу	56
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1. Загальні вимоги охорони праці під час збирання та транспортування ріпаку озимого	58
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи збирально-транспортної ланки	59
4.3. Заходи щодо забезпечення працівників засобами індивідуального захисту	62
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	72
ДОДАТКИ	75

ВСТУП

Ріпак озимий є однією з найбільш економічно важливих олійних культур в Україні та світі. Високий попит на ріпакову олію, продукцію її переробки та біопаливо сприяє постійному збільшенню посівних площ цієї культури. Завдяки високій рентабельності виробництва ріпак займає важливе місце в структурі посівних площ сільськогосподарських підприємств і є одним із основних експортно орієнтованих видів рослинницької продукції.

Ефективність вирощування ріпаку озимого значною мірою залежить від своєчасного та якісного виконання всіх технологічних операцій, починаючи від підготовки ґрунту і закінчуючи збиранням урожаю. У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва особливої актуальності набуває підвищення продуктивності збирально-транспортної ланки за рахунок удосконалення технічних засобів, що забезпечують накопичення, транспортування та перевантаження врожаю [3].

Однією з перспективних машин даного призначення є причіп-бункер накопичувач ПБН-16. Його використання дозволяє оптимізувати взаємодію між зернозбиральними комбайнами та автомобільним транспортом, знизити непродуктивні втрати часу та покращити організацію збиральних робіт. Разом із тим ефективність роботи ПБН-16 значною мірою залежить від продуктивності його вивантажувальної системи. Недостатня швидкість перевантаження зерна призводить до збільшення тривалості робочого циклу, зниження продуктивності транспортної ланки та виникнення додаткових простоїв техніки.

Підвищення ефективності роботи причепа-бункера накопичувача може бути досягнуте шляхом модернізації вивантажувального шнека. У результаті підвищується продуктивність усієї збирально-транспортної ланки та покращуються техніко-економічні показники виконання збиральних робіт.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого шляхом удосконалення роботи

збирально-транспортної ланки та модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану та особливостей вирощування ріпаку озимого;
- дослідити агротехнічні вимоги до вирощування культури та особливості її збирання;
- виконати аналіз сучасної техніки для збирання та транспортування врожаю ріпаку;
- розробити операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого;
- дослідити конструкцію та технічні характеристики причепа-бункера накопичувача ПБН-16;
- обґрунтувати доцільність модернізації вивантажувального шнека ПБН-16;
- виконати інженерні розрахунки модернізованого шнека та оцінити його працездатність;
- визначити економічну ефективність запропонованої модернізації.

Об'єктом дослідження є технологічний процес збирання ріпаку озимого та робота збирально-транспортної ланки.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри причепа-бункера накопичувача ПБН-16, що впливають на ефективність перевантаження зерна.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні технічного рішення щодо модернізації вивантажувального шнека ПБН-16, яке дозволяє підвищити продуктивність перевантаження зернової маси, скоротити тривалість технологічних операцій та покращити ефективність використання збирально-транспортної техніки під час збирання ріпаку озимого.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ЗБИРАЛЬНО- ТРАНСПОРТНОЇ ЛАНКИ

1.1. Народногосподарське значення ріпаку озимого та сучасний стан його вирощування

Ріпак озимий є однією з найважливіших технічних культур сучасного сільськогосподарського виробництва та займає провідне місце серед олійних культур у світі. Завдяки високій врожайності, значному вмісту олії та білка, а також широким можливостям використання продукції, ріпак набув великого господарського значення як для аграрного сектору, так і для переробної промисловості [3]. Насіння ріпаку використовується для виробництва харчової олії, біодизельного палива, кормів для тварин, а також як сировина для різних галузей хімічної промисловості. Посіви ріпаку озимого у фазі цвітіння наведено на рисунку 1.1.

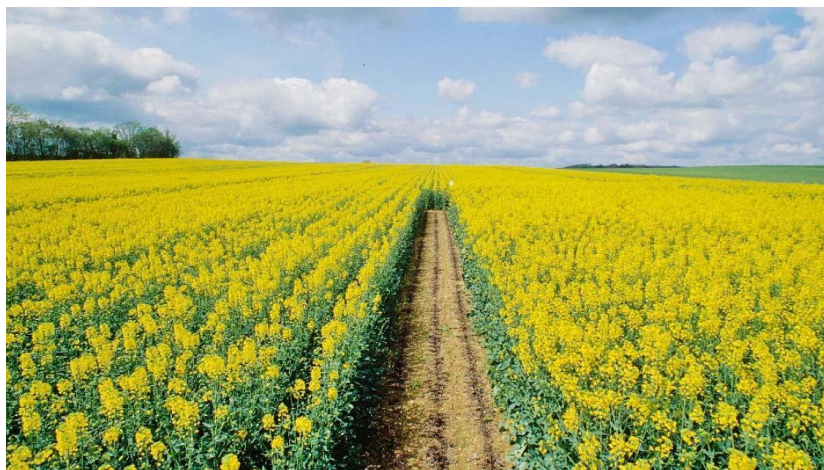


Рис. 1.1 – Посіви ріпаку озимого у фазі цвітіння

Сучасні сорти та гібриди ріпаку характеризуються високим потенціалом урожайності та підвищеним вмістом олії в насінні, який може досягати 45–50 %. Після переробки насіння отримують ріпакову олію, що широко використовується в харчовій промисловості завдяки сприятливому складу

жирних кислот. Побічним продуктом переробки є шрот, який містить значну кількість білка та використовується як високоякісний корм для сільськогосподарських тварин [7].

Важливе значення ріпак має і в енергетичній сфері. У багатьох країнах світу ріпакова олія є основною сировиною для виробництва біодизельного палива. Використання біопалива дозволяє частково замінювати традиційні нафтопродукти та сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Саме тому попит на насіння ріпаку залишається стабільно високим як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Стручки та насіння ріпаку озимого на рисунку 1.2.



Рис. 1.2 – Стручки та насіння ріпаку озимого

Для України ріпак є важливою експортно орієнтованою культурою. Значна частина вирощеного врожаю експортується до країн Європейського Союзу, де використовується для виробництва рослинної олії та біопалива. Завдяки високій рентабельності виробництва ріпак залишається однією з найбільш привабливих культур для аграрних підприємств різних форм власності.

Окрім економічного значення, ріпак має важливе агротехнічне значення. Він є добрим попередником для багатьох сільськогосподарських культур, зокрема зернових. Потужна коренева система сприяє покращенню структури

грунту, підвищенню його водопроникності та аерації [9]і. Після збирання ріпаку в ґрунті залишається значна кількість органічних решток, що позитивно впливає на родючість ґрунту та сприяє накопиченню органічної речовини. Основні показники господарської цінності ріпаку озимого наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні показники господарської цінності ріпаку озимого

Показник	Значення
Вміст олії в насінні, %	40–50
Вміст білка в шроті, %	32–38
Потенційна врожайність, т/га	4,0–6,0
Тривалість вегетаційного періоду, діб	290–320
Маса 1000 насінин, г	4–7
Глибина проникнення кореневої системи, м	1,5–2,5
Рентабельність виробництва, %	30–70

У структурі посівних площ України ріпак озимий посідає одне з провідних місць серед олійних культур. Найбільші площі його посівів зосереджені в західних, центральних та північних областях країни, де природно-кліматичні умови є найбільш сприятливими для формування високих урожаїв. Останніми роками спостерігається тенденція до збільшення посівних площ під ріпаком, що пов'язано зі стабільним попитом на продукцію та високою економічною ефективністю його вирощування.

Середня врожайність ріпаку озимого в передових господарствах України становить 3,5–5,0 т/га, а за сприятливих умов та використання сучасних інтенсивних технологій може перевищувати 6,0 т/га. Досягнення таких показників можливе лише за умови дотримання науково обґрунтованої технології вирощування, своєчасного виконання всіх технологічних операцій та використання високопродуктивної сільськогосподарської техніки [3]. Коренева система ріпаку озимого на рисунку 1.3.

Особливе значення при вирощуванні ріпаку має організація процесу збирання врожаю. Насіння ріпаку характеризується невеликими розмірами та високою сипучістю, тому навіть незначні порушення технології можуть призводити до суттєвих втрат урожаю. Важливим завданням є забезпечення безперебійної роботи збирально-транспортної ланки, до складу якої входять зернозбиральні комбайни, транспортні засоби та причепи-бункери накопичувачі. Ефективна взаємодія зазначених машин дозволяє зменшити простой комбайнів, скоротити тривалість збирання та забезпечити своєчасне транспортування врожаю до місць зберігання або переробки.



Рис. 1.3 – Коренева система ріпаку озимого

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва особлива увага приділяється впровадженню високопродуктивних машинно-технологічних комплексів, які забезпечують підвищення ефективності виконання польових робіт та зменшення експлуатаційних витрат. Одним із перспективних напрямків удосконалення технології збирання ріпаку є підвищення продуктивності роботи збирально-транспортної ланки шляхом модернізації технічних засобів перевантаження та транспортування зерна.

Ріпак озимий є стратегічно важливою культурою для агропромислового комплексу України. Його висока економічна ефективність, значний експортний потенціал та широкий спектр використання продукції зумовлюють необхідність подальшого вдосконалення технологій вирощування, збирання та транспортування врожаю. Одним із напрямків

підвищення ефективності виробництва ріпаку є удосконалення роботи збирально-транспортної ланки, що дозволяє скоротити втрати врожаю та підвищити продуктивність використання сільськогосподарської техніки.

1.2. Агротехнічні вимоги та біологічні особливості ріпаку озимого

Ріпак озимий є однією з найбільш цінних олійних культур, яка характеризується високим потенціалом урожайності та значною адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов. Разом із тим формування високого врожаю можливе лише за умови врахування біологічних особливостей культури та дотримання агротехнічних вимог на всіх етапах її вирощування.

Ріпак озимий належить до родини Капустяних (Brassicaceae). Рослина має добре розвинену стрижневу кореневу систему, яка здатна проникати в ґрунт на глибину понад 2 м. Завдяки цьому культура ефективно використовує запаси вологи та поживних речовин із глибоких шарів ґрунту. Коренева система сприяє покращенню структури ґрунту, розпушує ущільнені горизонти та підвищує його водопроникність [7].

Стебло ріпаку прямостояче, добре облиствене, висотою від 100 до 180 см залежно від сорту, погодних умов та рівня агротехніки. У фазі цвітіння рослини утворюють значну кількість бічних пагонів, на яких формуються суцвіття та майбутній урожай насіння. Плід ріпаку являє собою стручок, у якому міститься від 15 до 30 насінин. Насіння дрібне, округлої форми, чорного або темно-коричневого кольору.

Особливістю ріпаку озимого є тривалий вегетаційний період, який складається з двох етапів. Перший етап проходить восени після сівби та триває до припинення вегетації. Другий етап розпочинається навесні після відновлення ростових процесів і завершується досяганням насіння. Загальна тривалість вегетаційного періоду становить від 290 до 320 діб.

Однією з важливих біологічних особливостей культури є її висока вимогливість до умов перезимівлі. Для успішного проходження зимового

періоду рослини повинні сформувати добре розвинену розетку з 6–8 листків та кореневу шийку діаметром 8–12 мм. У такому стані рослини здатні витримувати зниження температури повітря до мінус 15–18 °С без снігового покриву та до мінус 25 °С за наявності достатнього шару снігу [3]. Основні агробіологічні характеристики ріпаку озимого наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні агробіологічні характеристики ріпаку озимого

Показник	Значення
Тривалість вегетації, діб	290–320
Глибина проникнення коренів, м	1,5–2,5
Оптимальний рН ґрунту	6,0–7,2
Вміст олії в насінні, %	40–50
Маса 1000 насінин, г	4–7
Морозостійкість без снігу, °С	до -18
Морозостійкість під снігом, °С	до -25
Потенційна врожайність, т/га	4,0–6,0

Ріпак озимий належить до вологолюбних культур. Найбільша потреба у волозі спостерігається під час проростання насіння, формування листової поверхні, стеблуння, цвітіння та наливу насіння. Для отримання високих урожаїв необхідно забезпечити накопичення достатніх запасів продуктивної вологи в ґрунті. Особливо негативно на продуктивність культури впливають посушливі умови в період формування стручків і наливу насіння.

Культура характеризується високими вимогами до родючості ґрунту. Найкращими для вирощування ріпаку є чорноземи, темно-сірі та сірі лісові ґрунти з нейтральною або слабокислою реакцією ґрунтового розчину. Оптимальне значення рН знаходиться в межах 6,0–7,2. На кислих, заболочених або важких глинистих ґрунтах рослини розвиваються гірше та формують нижчий урожай [3].

Ріпак належить до культур з високою потребою в елементах живлення. Для формування 1 т насіння та відповідної кількості побічної продукції

рослини споживають у середньому 50–60 кг азоту, 20–30 кг фосфору та 40–50 кг калію [11]. Крім основних елементів живлення важливу роль відіграють сірка, бор, магній та інші мікроелементи. Недостатнє забезпечення рослин бором може призводити до порушення розвитку точки росту та зниження зимостійкості.

Особливу увагу під час вирощування ріпаку приділяють вибору попередників. Найкращими попередниками є озимі та ярі зернові культури, зернобобові, багаторічні трави та інші культури, які рано звільняють поле. Не рекомендується висівати ріпак після інших капустяних культур через ризик накопичення хвороб і шкідників.

Важливим фактором отримання високих урожаїв є дотримання оптимальних строків сівби. Надто рання сівба може призвести до переростання рослин восени та погіршення їх зимостійкості. Запізнення із сівбою, навпаки, не дозволяє рослинам сформувати достатню листову розетку до настання холодів. Тому строки сівби повинні забезпечувати оптимальний розвиток рослин до входження в зимовий період [11].

Під час збирання врожаю необхідно враховувати особливості будови стручків ріпаку. У разі перестою на корені або несприятливих погодних умов можливе розтріскування стручків та значні втрати насіння. Саме тому велике значення має своєчасне проведення збиральних робіт та ефективна організація роботи збирально-транспортної ланки.

Сучасні технології вирощування ріпаку озимого передбачають використання високопродуктивної техніки, сучасних засобів захисту рослин, високоякісного насіння та науково обґрунтованих систем удобрення. Лише комплексне виконання всіх агротехнічних заходів дозволяє повністю реалізувати потенціал сучасних сортів і гібридів та забезпечити стабільне отримання високих урожаїв насіння ріпаку.

Ріпак озимий є високопродуктивною культурою з підвищеними вимогами до умов вирощування. Для формування високого врожаю необхідно забезпечити оптимальні умови живлення, вологості, перезимівлі та своєчасне

виконання всіх технологічних операцій. Врахування біологічних особливостей культури є основою ефективного застосування сучасних технологій вирощування та раціонального використання машинно-тракторного парку.

1.3. Технологія вирощування ріпаку озимого

Технологія вирощування ріпаку озимого являє собою комплекс взаємопов'язаних агротехнічних заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин, формування високого врожаю насіння та забезпечення його якісних показників. Ефективність вирощування культури значною мірою залежить від правильного вибору попередника, системи обробітку ґрунту, строків сівби, рівня мінерального живлення, захисту рослин від бур'янів, хвороб і шкідників, а також від своєчасного та якісного виконання збиральних робіт.

Вирощування ріпаку озимого починається з вибору поля та попередника. Найкращими попередниками є озимі та ярі зернові культури, зернобобові, багаторічні трави та інші культури, які рано звільняють поле та дозволяють якісно підготувати ґрунт до сівби. Не рекомендується висівати ріпак після культур родини Капустяних, оскільки це призводить до накопичення спільних шкідників і збудників хвороб. Повертати ріпак на попереднє поле доцільно не раніше ніж через 4–5 років [11].

Після збирання попередника проводять комплекс заходів із підготовки ґрунту. Залежно від ґрунтово-кліматичних умов та прийнятої технології можуть застосовуватися традиційний, мінімальний або нульовий обробіток ґрунту. Традиційна система передбачає проведення лущення стерні та основного обробітку ґрунту на глибину 20–25 см. Мінімальний обробіток дозволяє зменшити витрати пального та кількість проходів техніки по полю. Останніми роками все більшого поширення набувають ресурсозберігаючі

технології, які сприяють збереженню вологи та зменшенню ущільнення ґрунту.

Одним із найважливіших факторів успішного вирощування ріпаку є дотримання оптимальних строків сівби. Сівбу проводять у період, який забезпечує формування до настання зимового спокою добре розвиненої розетки листків та потужної кореневої системи. До припинення осінньої вегетації рослини повинні сформувати 6–8 справжніх листків, діаметр кореневої шийки 8–12 мм та корінь довжиною не менше 20 см [13]. Основні технологічні операції при вирощуванні ріпаку озимого наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні технологічні операції при вирощуванні ріпаку озимого

Технологічна операція	Строк виконання	Основна мета
Лущення стерні	Після збирання попередника	Знищення падалиці та бур'янів
Основний обробіток ґрунту	Липень–серпень	Накопичення вологи та підготовка ґрунту
Внесення добрив	Перед сівбою	Забезпечення рослин елементами живлення
Сівба	Серпень	Формування оптимальної густоти посівів
Захист від бур'янів	Осінь, весна	Зменшення конкуренції за ресурси
Підживлення посівів	Весна	Стимулювання росту та розвитку
Захист від шкідників і хвороб	Протягом вегетації	Збереження врожаю
Збирання врожаю	Липень	Отримання насіння з мінімальними втратами
Транспортування врожаю	Під час збирання	Доставка насіння до місця зберігання

Для сівби використовують високоякісне насіння районованих сортів і гібридів із високою схожістю та енергією проростання. Глибина загортання

насіння залежить від механічного складу та вологості ґрунту і зазвичай становить 2–4 см. Надмірно глибоке загортання насіння негативно впливає на польову схожість і рівномірність появи сходів. Оптимальна густота стояння рослин перед збиранням становить 40–60 рослин на 1 м² залежно від особливостей сорту або гібрида [11].

Особливу роль у технології вирощування ріпаку відіграє система удобрення. Культура характеризується високою потребою в поживних речовинах і активно використовує елементи живлення протягом усього періоду вегетації. Основна частина фосфорних і калійних добрив вноситься під основний обробіток ґрунту. Азотні добрива застосовують як восени, так і навесні у вигляді підживлень. Для забезпечення нормального росту та розвитку рослин необхідно також використовувати мікродобрива, особливо препарати, що містять бор, сірку та магній.

Значну увагу приділяють захисту посівів від бур'янів. Ріпак на початкових етапах розвитку є недостатньо конкурентоспроможним щодо бур'янів, тому застосування гербіцидів є обов'язковим елементом технології. Залежно від видового складу бур'янів використовують ґрунтові або страхові гербіциди, що дозволяють підтримувати посіви в чистому стані протягом усього періоду вегетації.

Не менш важливим є захист культури від шкідників та хвороб. Найбільш поширеними шкідниками ріпаку є хрестоцвіті блішки, ріпаковий квіткоїд, прихованохоботники, капустяна попелиця та інші комахи. Для боротьби з ними використовують інсектициди різних груп. Серед хвороб найбільшу небезпеку становлять фомоз, альтернаріоз, склеротиніоз та циліндроспоріоз. Захист рослин здійснюють шляхом застосування сучасних фунгіцидних препаратів та дотримання сівозміни [3].

Важливим елементом технології є застосування регуляторів росту. Осіннє використання ретардантів сприяє формуванню компактної листової розетки, підвищує зимостійкість рослин та зменшує ризик переростання

посівів. Навесні регулятори росту можуть використовуватися для покращення архітекτονіки рослин та зниження ризику вилягання.

Збирання врожаю є завершальним та одним із найвідповідальніших етапів технології вирощування ріпаку. Насіння ріпаку характеризується високою сипучістю та схильністю до осипання, тому запізнення зі збиранням може призвести до значних втрат урожаю. Збирання проводять прямим комбайнуванням або роздільним способом залежно від стану посівів та погодних умов. У сучасному виробництві найбільш поширеним є пряме комбайнування із застосуванням спеціальних ріпакових столів та бокових ножів.

Особливе значення під час збирання має ефективна робота збирально-транспортної ланки. У період масового надходження врожаю необхідно забезпечити безперебійне транспортування насіння від комбайнів до місць зберігання або переробки. Для цього використовуються автомобілі-самоскиди, тракторні причеми та причеми-бункери накопичувачі, які дозволяють зменшити простої комбайнів та підвищити продуктивність збирального комплексу [12].

Одним із перспективних напрямків удосконалення технології збирання ріпаку є використання причепів-бункерів накопичувачів, які виконують функцію проміжного накопичення та перевантаження зерна. Їх застосування дозволяє скоротити час очікування транспортних засобів, оптимізувати маршрути руху техніки та забезпечити більш ефективне використання зернозбиральних комбайнів.

Сучасна технологія вирощування ріпаку озимого базується на комплексному виконанні агротехнічних заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для розвитку рослин та формування високого врожаю. Важливу роль у підвищенні ефективності виробництва відіграє раціональна організація збирально-транспортної ланки та застосування сучасних технічних засобів для транспортування і перевантаження насіння.

1.4. Висновки до розділу

У першому розділі дипломної роботи проведено аналіз сучасного стану вирощування ріпаку озимого та визначено його значення для агропромислового комплексу України. Встановлено, що ріпак є однією з найбільш рентабельних олійних культур, продукція якої широко використовується у харчовій промисловості, тваринництві та виробництві біопалива.

Розглянуто біологічні особливості культури та встановлено, що для формування високого врожаю необхідно забезпечити оптимальні умови живлення, вологості, перезимівлі та своєчасного виконання агротехнічних заходів. Визначено, що ріпак озимий характеризується високими вимогами до родючості ґрунту, забезпечення елементами живлення та дотримання технологічної дисципліни протягом усього періоду вирощування.

Проаналізовано сучасну технологію вирощування ріпаку озимого та встановлено, що одним із найбільш відповідальних етапів виробництва є процес збирання та транспортування врожаю. У цей період значною мірою визначається рівень втрат насіння, продуктивність зернозбиральних комбайнів та ефективність використання транспортних засобів.

Встановлено, що підвищення ефективності роботи збирально-транспортної ланки є одним із перспективних напрямків удосконалення технології вирощування ріпаку озимого. Особливого значення набуває скорочення часу перевантаження зерна та забезпечення безперебійної роботи збиральних агрегатів у період масового збирання врожаю.

На підставі проведеного аналізу визначено необхідність дослідження технічних засобів, що використовуються у складі збирально-транспортної ланки, та пошуку шляхів підвищення їх продуктивності. У наступних розділах роботи буде розроблено операційну технологію збирання ріпаку озимого та обґрунтовано технічне рішення щодо удосконалення причепа-бункера накопичувача для підвищення ефективності перевантаження зерна.

2. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО

2.1. Аналіз технології збирання ріпаку озимого

Збирання ріпаку озимого є завершальним та одним із найбільш відповідальних етапів технології його вирощування. Саме в цей період остаточно формується економічний результат виробництва культури, оскільки навіть незначні порушення технології можуть призвести до суттєвих втрат урожаю. Особливості будови рослин ріпаку, висока сипучість насіння та схильність стручків до розтріскування вимагають застосування сучасних технічних засобів і раціональної організації збирально-транспортних процесів.

На відміну від багатьох зернових культур, ріпак характеризується нерівномірністю досягання рослин та високою чутливістю до погодних умов у період збирання. При перестої посівів на корені виникає ризик розтріскування стручків та осипання насіння, що може спричинити значні втрати врожаю. За несприятливих погодних умов втрати можуть досягати 10–20 %, а в окремих випадках навіть перевищувати зазначені значення [3].

Основним завданням під час збирання ріпаку є забезпечення мінімальних втрат насіння та максимальне використання продуктивності збиральної техніки. Для цього необхідно правильно визначити строки початку збирання, забезпечити оптимальне налаштування робочих органів комбайна та організувати безперебійне транспортування врожаю від місця збирання до місць зберігання або переробки.

У сучасному аграрному виробництві застосовують два основні способи збирання ріпаку озимого: роздільне збирання та пряме комбайнування.

Роздільний спосіб передбачає скошування рослин у валки з подальшим підбиранням і обмолотом після підсихання. Дана технологія дозволяє частково вирівняти стиглість рослин та знизити втрати насіння в разі нерівномірного дозрівання посівів. Разом із тим вона потребує додаткових

технологічних операцій, збільшує витрати пального, трудових ресурсів та підвищує собівартість виробництва продукції.

У більшості сучасних господарств перевагу надають прямому комбайнуванню. Цей спосіб передбачає одночасне виконання операцій зрізування рослин, обмолоту, очищення та накопичення зерна в бункері комбайна за один прохід машини. Використання прямого комбайнування дозволяє значно скоротити строки проведення збиральних робіт, зменшити витрати пального та підвищити продуктивність машинно-тракторного парку [12].

Для збирання ріпаку прямим комбайнуванням зернозбиральні комбайни оснащують спеціальними ріпаковими столами та боковими ножами. Ріпаковий стіл збільшує відстань між різальним апаратом та шнеком жатки, що дозволяє зменшити втрати насіння від осипання під час зрізування рослин. Бокові ножі забезпечують якісне відокремлення рослин від незрізаної маси та зменшують втрати, які виникають унаслідок переплетення стебел. Порівняльна характеристика способів збирання ріпаку озимого наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика способів збирання ріпаку озимого

Показник	Роздільне збирання	Пряме комбайнування
Кількість технологічних операцій	2–3	1
Витрати пального	Вищі	Нижчі
Тривалість збирання	Більша	Менша
Потреба в техніці	Вища	Нижча
Собівартість робіт	Вища	Нижча
Поширеність застосування	Обмежена	Основна технологія

Початок збирання визначають за ступенем досягання насіння. Оптимальною вважається фаза, коли більшість стручків набуває характерного бурого або темно-коричневого забарвлення, а вологість насіння становить 10–

12 %. За більшої вологості виникає необхідність додаткового досушування врожаю, а за меншої підвищується ризик втрат від осипання.

Важливим фактором ефективного збирання ріпаку є правильне налаштування зернозбирального комбайна. Частота обертання молотильного барабана, зазори між барабаном і підбарабанням, швидкість руху машини та режими роботи систем очищення повинні відповідати конкретним умовам збирання. Неправильне регулювання може призводити до дроблення насіння, збільшення втрат або погіршення якості зібраної продукції [12].

Під час масового збирання врожаю виникає необхідність швидкого відведення зерна від комбайнів. При заповненні бункера комбайна та відсутності транспортного засобу відбувається вимушена зупинка машини, що негативно впливає на продуктивність збирального комплексу. Саме тому важливе значення має правильна організація роботи збирально-транспортної ланки.

До складу збирально-транспортної ланки зазвичай входять зернозбиральні комбайни, причепи-бункери накопичувачі, трактори та транспортні засоби для перевезення врожаю. Робота всіх машин повинна бути узгодженою та забезпечувати безперервність технологічного процесу.

Одним із найбільш ефективних засобів підвищення продуктивності збиральних робіт є застосування причепів-бункерів накопичувачів. Дані машини приймають зерно безпосередньо від комбайнів під час руху та виконують його подальше перевантаження в транспортні засоби за межами поля. Така організація роботи дозволяє практично повністю усунути простої комбайнів під час вивантаження зерна та забезпечує більш раціональне використання транспортних засобів [3].

Серед сучасних бункерів накопичувачів значного поширення набув ПБН-16. Машина призначена для накопичення, транспортування та перевантаження зерна різних культур, у тому числі ріпаку. Основною перевагою використання ПБН-16 є можливість виконання безперервного

приймання зерна від комбайна та його подальшого швидкого перевантаження в автомобільний транспорт.

Разом із тим ефективність роботи бункера накопичувача значною мірою залежить від продуктивності його вивантажувальної системи. Час перевантаження зерна визначає тривалість робочого циклу машини та впливає на загальну продуктивність збирально-транспортної ланки. Тому одним із перспективних напрямків підвищення ефективності збирання ріпаку є удосконалення конструкції вивантажувального шнека бункера накопичувача з метою збільшення швидкості переміщення зернової маси [7].

Аналіз технології збирання ріпаку озимого показав, що найбільший вплив на ефективність виробництва мають своєчасність проведення збиральних робіт, рівень втрат насіння та продуктивність збирально-транспортної ланки. Одним із шляхів підвищення ефективності технологічного процесу є використання причепів-бункерів накопичувачів та вдосконалення їх вивантажувальних систем, що дозволяє скоротити тривалість перевантаження зерна та підвищити продуктивність роботи всього збирального комплексу.

2.2. Аналіз сучасної техніки для збирання та транспортування врожаю

Ефективність збирання ріпаку озимого значною мірою визначається рівнем технічного забезпечення господарства. Використання сучасних високопродуктивних машин дозволяє скоротити строки виконання робіт, зменшити втрати врожаю та забезпечити раціональне використання трудових і матеріальних ресурсів. Особливо важливим є правильний підбір машин для виконання операцій збирання, перевантаження та транспортування насіння ріпаку.

Сучасна збирально-транспортна ланка при вирощуванні ріпаку озимого включає зернозбиральні комбайни, причепи-бункери накопичувачі, трактори

та транспортні засоби для перевезення врожаю. Кожна машина виконує певну функцію у технологічному процесі, а їх узгоджена робота забезпечує безперервність збирання та мінімізацію простоїв [7].

Основною машиною збирального комплексу є зернозбиральний комбайн. Для збирання ріпаку використовують сучасні комбайни високої продуктивності, обладнані ріпаковими столами та боковими ножами. Серед найбільш поширених моделей можна виділити комбайни John Deere, Claas, New Holland та Case IH.



Рис. 2.1 – Зернозбиральний комбайн John Deere S770 під час збирання ріпаку озимого

Для умов даної роботи доцільно використовувати зернозбиральний комбайн John Deere S770, який належить до класу високопродуктивних комбайнів та забезпечує ефективне збирання ріпаку на великих площах. Комбайн обладнаний потужним двигуном, містким зерновим бункером та сучасною системою очищення зерна. Його застосування дозволяє підтримувати високу продуктивність навіть за складних умов збирання.

Під час роботи комбайна виникає необхідність оперативного відведення зерна від місця збирання. Для вирішення цього завдання застосовуються причепи-бункери накопичувачі. Їх використання дозволяє здійснювати перевантаження зерна без зупинки комбайна, що суттєво підвищує продуктивність збирального комплексу [12].

У даній роботі як основний засіб проміжного накопичення та перевантаження зерна розглядається причіп-бункер накопичувач ПБН-16. Машина призначена для приймання зерна від комбайнів, його

транспортування в межах поля та подальшого перевантаження в автомобільний транспорт. Основні технічні характеристики комбайна John Deere S770 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика комбайна John Deere S770

Показник	Значення
Потужність двигуна, к.с.	431
Об'єм зернового бункера, л	10600
Продуктивність вивантаження, л/с	116
Робоча швидкість, км/год	5–8
Транспортна швидкість, км/год	до 30
Ширина жатки, м	7,6–10,7
Маса комбайна, кг	близько 17000

ПБН-16 являє собою двовісний причіп із містким бункером та шнековою системою вивантаження. Завдяки великій місткості машина може приймати значний обсяг зерна за короткий проміжок часу, забезпечуючи безперервну роботу комбайнів. Основні технічні характеристики ПБН-16 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика причепа-бункера накопичувача ПБН-16

Показник	Значення
Місткість бункера, м ³	16
Вантажопідйомність, т	до 12
Ширина захвату приймання зерна	відповідно до ширини бункера
Тип вивантажувального органу	шнековий
Час повного вивантаження, хв	2–4
Робоча швидкість, км/год	до 15
Транспортна швидкість, км/год	до 30

Застосування ПБН-16 дозволяє організувати перевантаження зерна безпосередньо під час руху комбайна. Це усуває необхідність його зупинки для розвантаження бункера та забезпечує більш повне використання продуктивності збиральної техніки [12].

Після накопичення зерна у бункері ПБН-16 продукція перевантажується в автомобільний транспорт для подальшого транспортування до місць зберігання або переробки. Для цих цілей використовуються автомобілі-самоскиди або зерновози, які характеризуються великою вантажопідйомністю та високою транспортною швидкістю.



Рис. 2.2 – Причіп-бункер накопичувач ПБН-16

У сучасних господарствах найбільш поширеними є зерновози вантажопідйомністю від 20 до 40 т, що дозволяє ефективно здійснювати перевезення зерна на значні відстані. Використання автомобільного транспорту забезпечує своєчасне вивезення врожаю з поля та виключає накопичення зерна на тимчасових майданчиках.

Важливою умовою ефективної роботи збирально-транспортної ланки є узгодження продуктивності всіх машин комплексу. Продуктивність комбайна, місткість бункера накопичувача та вантажопідйомність транспортних засобів повинні відповідати одна одній. Недостатня продуктивність хоча б одного елемента ланки призводить до виникнення простоїв та зниження ефективності використання техніки.

Проведений аналіз показує, що одним із ключових елементів збирально-транспортної ланки є причіп-бункер накопичувач ПБН-16. Саме від швидкості його роботи значною мірою залежить продуктивність процесу перевантаження зерна та ефективність використання комбайнів і транспортних засобів. Тому подальше підвищення ефективності роботи збирально-транспортної ланки доцільно здійснювати шляхом удосконалення конструкції вивантажувального шнека ПБН-16, що дозволить скоротити тривалість перевантаження зерна та підвищити загальну продуктивність технологічного процесу.

2.3. Розробка операційно-технологічної карти збирання ріпаку озимого

Призначення технологічної операції та характеристика умов роботи

Збирання ріпаку озимого є завершальною операцією технологічного процесу вирощування культури. Під час її виконання здійснюється зрізування рослин, обмолот, очищення насіння, тимчасове накопичення зернової маси та її подальше транспортування до місця зберігання або переробки. Особливістю ріпаку є дрібне насіння, висока сипучість та схильність стручків до розтріскування, тому процес збирання повинен виконуватись у стислі строки з мінімальними простоями збиральної техніки [12].

Для умов даної роботи приймається пряме комбайнування ріпаку озимого із застосуванням зернозбирального комбайна John Deere S770. Для забезпечення безперервної роботи комбайна до складу ланки включено причіп-бункер накопичувач ПБН-16, який приймає зерно від комбайна та перевантажує його в автомобільний зерновоз. Така схема дозволяє скоротити непродуктивні втрати часу, зменшити кількість заїздів автомобільного

транспорту на поле та підвищити продуктивність збирального комплексу. Загальні параметри умов роботи наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Загальні параметри умов роботи

Показник	Значення
Культура	Ріпак озимий
Спосіб збирання	пряме комбайнування
Площа поля	100 га
Урожайність	3,5 т/га
Валовий збір	350 т
Довжина гону	1200 м
Тип ґрунту	чорнозем середньосуглинковий
Середній ухил місцевості	1,5 %
Комбайн	John Deere S770
Робоча ширина жатки	9,1 м
Робоча швидкість комбайна	6 км/год
Причіп-бункер накопичувач	ПБН-16
Транспортний засіб	автомобільний зерновоз вантажопідйомністю 24 т

Агротехнічні вимоги

Для якісного виконання операції збирання ріпаку озимого необхідно дотримуватися встановлених агротехнічних вимог. Основною вимогою є проведення збирання у фазі повної стиглості насіння при вологості 10-12 %. За підвищеної вологості збільшуються витрати на післязбиральне досушування, а при пересушуванні посівів різко зростають втрати від розтріскування стручків та осипання насіння.

Комбайн повинен бути обладнаний ріпаковим столом та боковими ножами. Під час роботи необхідно забезпечувати правильне регулювання різального апарата, молотильного барабана, підбарабання та системи очищення. Втрати насіння за комбайном не повинні перевищувати

допустимих значень, а рух збирального агрегату повинен бути рівномірним і прямолінійним.

Основні агротехнічні вимоги до виконання операції наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Агротехнічні вимоги до збирання ріпаку озимого

Показник	Допустиме або рекомендоване значення
Вологість насіння під час збирання	10-12 %
Спосіб збирання	пряме комбайнування
Наявність ріпакового столу	обов'язкова
Втрати насіння за комбайном	не більше 2 %
Дроблення насіння	не більше 1 %
Засміченість зернової маси	не більше 3 %
Робоча швидкість комбайна	5-7 км/год
Простої комбайна під час вивантаження	мінімальні, за рахунок використання ПБН-16

Комплектування збирально-транспортної ланки

Для виконання збирання ріпаку озимого приймаємо збирально-транспортну ланку у складі зернозбирального комбайна John Deere S770, трактора John Deere 6195М з причепом-бункером накопичувачем ПБН-16 та автомобільного зерновоза вантажопідйомністю 24 т. Обраний склад машин забезпечує виконання операції збирання, проміжного накопичення, перевантаження та транспортування врожаю.

Комбайн John Deere S770 виконує основну технологічну операцію - зрізування, обмолот і очищення насіння. Причіп-бункер ПБН-16 використовується для приймання зерна від комбайна під час руху та його швидкого перевантаження в автомобільний транспорт. Трактор John Deere 6195М забезпечує агрегування та переміщення ПБН-16 у межах поля.

Склад та основні параметри збирально-транспортної ланки наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Склад та основні параметри збирально-транспортної ланки

Елемент ланки	Марка	Основний параметр
Зернозбиральний комбайн	John Deere S770	ширина жатки 9,1 м
Трактор	John Deere 6195М	потужність 195 к.с.
Причіп-бункер накопичувач	ПБН-16	місткість бункера 16 м ³
Автомобільний зерновоз	самоскидний зерновоз	вантажопідйомність 24 т
Кількість працівників	-	3 особи

Тяговий розрахунок агрегату John Deere 6195М + ПБН-16

Для перевірки можливості роботи трактора з причепом-бункером накопичувачем ПБН-16 у заданих умовах виконуємо тяговий розрахунок. Розрахунок проводимо для найбільш навантаженого режиму руху, коли бункер заповнений насінням ріпаку.

$$R_a = R_{\text{пер}} + R_i + R_{\text{ух}}, \text{ кН} \quad (2.1)$$

де: R_a - сумарний тяговий опір агрегату, кН; $R_{\text{пер}}$ - опір перекочування причепа-бункера, кН; R_i - опір на подолання інерції при рушанні, кН; $R_{\text{ух}}$ - опір руху на ухилі, кН.

Опір перекочування визначаємо за формулою:

$$R_{\text{пер}} = m \cdot g \cdot f / 1000, \text{ кН} \quad (2.2)$$

де: m - маса завантаженого агрегату, кг; g - прискорення вільного падіння, м/с²; f - коефіцієнт перекочування. Приймаємо $m = 15000$ кг, $f = 0.06$.

$$R_{\text{пер}} = 15000 \cdot 9,81 \cdot 0.06 / 1000 = 8.83 \text{ кН}$$

Опір на подолання інерції при рушанні визначаємо за формулою:

$$R_i = m \cdot v / (t_p \cdot 1000), \text{ кН} \quad (2.3)$$

Робоча швидкість агрегату 12 км/год відповідає 3.33 м/с. Час розгону приймаємо $t_p = 5$ с.

$$R_i = 15000 \cdot 3.33 / (5 \cdot 1000) = 10.00 \text{ кН}$$

Опір руху на ухилі визначаємо за формулою:

$$R_{yx} = m \cdot g \cdot i / (100 \cdot 1000), \text{ кН} \quad (2.4)$$

$$R_{yx} = 15000 \cdot 9,81 \cdot 2,0 / (100 \cdot 1000) = 2,21 \text{ кН}$$

Сумарний тяговий опір агрегату становить:

$$R_a = 8,83 + 10,00 + 2,21 = 21,04 \text{ кН}$$

Необхідну тягову потужність визначаємо за формулою:

$$N_T = R_a \cdot v / \eta, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

де η - коефіцієнт використання тягової потужності трактора, приймаємо $\eta = 0,85$.

$$N_T = 21,04 \cdot 3,33 / 0,85 = 82,5 \text{ кВт}$$

Отже, для роботи трактора з завантаженим ПБН-16 у заданих умовах необхідна потужність становить близько 82,5 кВт, або 112 к.с. Трактор John Deere 6195M має достатній запас потужності для агрегування причепа-бункера ПБН-16 під час збирання ріпаку озимого.

Підготовка збирально-транспортної ланки до роботи

Перед початком роботи необхідно виконати технічний огляд зернозбирального комбайна, трактора, причепа-бункера накопичувача та автомобільного транспорту. У комбайна перевіряють стан жатки, ріпакового столу, бокових ножів, молотильного апарата, системи очищення, зернового бункера та вивантажувального шнека.

Особливу увагу слід приділити налаштуванню комбайна на збирання дрібнонасінної культури. Необхідно відрегулювати частоту обертання молотильного барабана, зазори підбарабання, швидкість вентилятора та положення решіт. Неправильне налаштування призводить до збільшення втрат або дроблення насіння.

Для ПБН-16 необхідно перевірити технічний стан ходової частини, зчіпного пристрою, вивантажувального шнека, карданного приводу, захисних кожухів, підшипникових вузлів та гідравлічних механізмів. Перед початком роботи виконується пробне вмикання шнекової системи без завантаження,

після чого перевіряється відсутність сторонніх шумів, вібрацій та перегрівання вузлів.

Підготовка поля та кінематичний розрахунок

Перед початком збирання поле необхідно обстежити, визначити напрямок основних робочих ходів та місця розташування транспортних засобів. Напрямок руху комбайна доцільно приймати вздовж довшої сторони поля, що дозволяє зменшити кількість поворотів і підвищити коефіцієнт робочих ходів.

Ширину поворотної смуги визначаємо за формулою:

$$E = 1,5R + e, \text{ м} \quad (2.6)$$

де: R - радіус повороту агрегату, м; e - допуск виїзду за лінію контролю, м.

$$R = 1,1 \cdot B_p = 1,1 \cdot 9.1 = 10.01 \text{ м} \quad (2.7)$$

Кінематичну довжину комбайна з жаткою приймаємо $L_a = 10,0$ м.

$$e = 0,6 \cdot L_a = 0,6 \cdot 10,0 = 6.0 \text{ м} \quad (2.8)$$

$$E = 1,5 \cdot 10.01 + 6.0 = 21.02 \text{ м}$$

Робоча довжина гону визначається як:

$$L_p = L - 2E, \text{ м} \quad (2.9)$$

$$L_p = 1200 - 2 \cdot 21.02 = 1157.97 \text{ м}$$

Довжину холостого ходу на поворотній смузі визначаємо за залежністю:

$$L_x = 7R, \text{ м} \quad (2.10)$$

$$L_x = 7 \cdot 10.01 = 70.07 \text{ м}$$

Коефіцієнт робочих ходів становить:

$$\varphi = L_p / (L_p + L_x) \quad (2.11)$$

$$\varphi = 1157.97 / (1157.97 + 70.07) = 0.943$$

Робота агрегатів у загінці

Для збирання ріпаку озимого доцільно застосовувати човниковий спосіб руху комбайна з поступовим обробленням загінки. Такий спосіб забезпечує

прямолинійність робочих ходів, зменшує кількість холостих переїздів та полегшує організацію роботи ПБН-16 біля комбайна.

Під час роботи комбайнер контролює швидкість руху, якість зрізування рослин, роботу ріпакового столу, втрати за жаткою та комбайном, заповнення зернового бункера та якість очищення зерна. Тракторист на ПБН-16 забезпечує своєчасний під'їзд до комбайна для приймання зерна без зупинки збирального агрегату.

Розрахунок продуктивності комбайна

Теоретичну продуктивність комбайна визначаємо за формулою:

$$W_T = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p, \text{ га/год} \quad (2.12)$$

де: B_p - робоча ширина захвату жатки, м; V_p - робоча швидкість комбайна, км/год.

$$W_T = 0,1 \cdot 9,1 \cdot 6,0 = 5,46 \text{ га/год}$$

З урахуванням коефіцієнта робочих ходів та коефіцієнта використання часу зміни експлуатаційна продуктивність становить:

$$W_{\text{год}} = W_T \cdot \phi \cdot \tau, \text{ га/год} \quad (2.13)$$

де: τ - коефіцієнт використання часу зміни, приймаємо $\tau = 0,82$.

$$W_{\text{год}} = 5,46 \cdot 0,943 \cdot 0,82 = 4,22 \text{ га/год}$$

Змінна продуктивність комбайна за тривалості зміни 7 годин:

$$W_{\text{зм}} = W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зм}}, \text{ га/зм} \quad (2.14)$$

$$W_{\text{зм}} = 4,22 \cdot 7 = 29,55 \text{ га/зм}$$

Кількість нормо-змін для збирання ріпаку на площі 100 га:

$$H_{\text{зм}} = F / W_{\text{зм}} \quad (2.15)$$

$$H_{\text{зм}} = 100 / 29,55 = 3,38 \text{ нормо-зміни}$$

Загальна тривалість виконання операції в годинах:

$$T_{\text{заг}} = F / W_{\text{год}}, \text{ год} \quad (2.16)$$

$$T_{\text{заг}} = 100 / 4,22 = 23,69 \text{ год}$$

Розрахунок роботи причепа-бункера накопичувача ПБН-16

Валовий збір ріпаку визначаємо за формулою:

$$Q = F \cdot Y, \text{ т} \quad (2.17)$$

де: F - площа збирання, га; Y - урожайність ріпаку, т/га.

$$Q = 100 \cdot 3.5 = 350 \text{ т}$$

Масу ріпаку, яку може прийняти ПБН-16, визначаємо з урахуванням місткості бункера та насипної щільності насіння:

$$G_{\text{ПБН}} = V_{\text{б}} \cdot \rho, \text{ т} \quad (2.18)$$

де: $V_{\text{б}}$ - місткість бункера, м^3 ; ρ - насипна щільність насіння ріпаку, $\text{т}/\text{м}^3$.

Приймаємо $V_{\text{б}} = 16 \text{ м}^3$, $\rho = 0.65 \text{ т}/\text{м}^3$.

$$G_{\text{ПБН}} = 16 \cdot 0.65 = 10.40 \text{ т}$$

Кількість циклів роботи ПБН-16 визначаємо за формулою:

$$n_{\text{ПБН}} = Q / G_{\text{ПБН}} \quad (2.19)$$

$$n_{\text{ПБН}} = 350 / 10.40 = 33.7 \text{ циклів}$$

Приймаємо 34 цикли роботи ПБН-16 за весь період збирання поля. Годинний потік зерна від комбайна становить:

$$q_{\text{год}} = W_{\text{год}} \cdot Y, \text{ т}/\text{год} \quad (2.20)$$

$$q_{\text{год}} = 4.22 \cdot 3.5 = 14.78 \text{ т}/\text{год}$$

Отримане значення показує, що при використанні одного комбайна ПБН-16 має достатню місткість для організації безперервного відведення зерна від комбайна. Водночас швидкість вивантаження бункера безпосередньо впливає на тривалість циклу його роботи, тому удосконалення шнекової системи є важливим резервом підвищення продуктивності.

Розрахунок транспортного процесу

Для транспортування ріпаку від поля до місця зберігання приймаємо автомобільний зерновоз вантажопідйомністю 24 т. Кількість рейсів зерновоза визначаємо за формулою:

$$n_{\text{авт}} = Q / G_{\text{авт}} \quad (2.21)$$

$$n_{\text{авт}} = 350 / 24 = 14.6 \text{ рейсів}$$

Приймаємо 15 рейсів автомобільного зерновоза.

Тривалість одного транспортного циклу визначаємо як суму часу руху з вантажем, руху без вантажу, завантаження, розвантаження та маневрування:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{вант}} + t_{\text{пор}} + t_{\text{зав}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{м}}, \text{ хв} \quad (2.22)$$

$$T_{\text{ц}} = 20.0 + 17.1 + 6.0 + 10.0 + 5.0 = 58.1 \text{ хв}$$

Годинна транспортна продуктивність одного автомобіля становить:

$$W_{\text{авт}} = G_{\text{авт}} \cdot 60 / T_{\text{ц}}, \text{ т/год} \quad (2.23)$$

$$W_{\text{авт}} = 24 \cdot 60 / 58.1 = 24.77 \text{ т/год}$$

Необхідну кількість автомобілів визначаємо за співвідношенням годинного потоку зерна від комбайна та годинної продуктивності автомобіля:

$$n = q_{\text{год}} / W_{\text{авт}} \quad (2.24)$$

$$n = 14.78 / 24.77 = 0.60$$

Для заданих умов достатньо одного автомобільного зерновоза вантажопідйомністю 24 т. Для підвищення надійності технологічного процесу в період масового збирання доцільно передбачити резервний транспортний засіб або можливість залучення додаткового автомобіля при збільшенні відстані перевезення.

Розрахунок витрати пального та затрат праці

Питому витрату пального для збирання ріпаку комбайном приймаємо на рівні 16,5 л/га. Для роботи трактора з ПБН-16 приймаємо 2,8 л/га в перерахунку на площу збирання. Витрата пального автомобільного зерновоза приймається 0,35 л/км.

$$G_{\text{к}} = g_{\text{к}} \cdot F, \text{ л} \quad (2.25)$$

$$G_{\text{к}} = 16,5 \cdot 100 = 1650 \text{ л}$$

$$G_{\text{ПБН}} = g_{\text{ПБН}} \cdot F, \text{ л} \quad (2.26)$$

$$G_{\text{ПБН}} = 2,8 \cdot 100 = 280 \text{ л}$$

$$G_{\text{авт}} = g_{\text{авт}} \cdot S_{\text{заг}}, \text{ л} \quad (2.27)$$

$$G_{\text{авт}} = 0,35 \cdot 20 \cdot 15 = 105 \text{ л}$$

Загальна витрата пального становить:

$$G_{\text{заг}} = 1650 + 280 + 105 = 2035 \text{ л}$$

У перерахунку на масу пального при густині дизельного палива 0,83 кг/л:

$$G_{\text{м}} = 2035 \cdot 0,83 = 1689,0 \text{ кг}$$

Затрати праці визначаємо з урахуванням трьох працівників: комбайнера, тракториста та водія автомобіля.

$$Z_{\text{заг}} = m \cdot T_{\text{заг}}, \text{ люд.-год} \quad (2.28)$$

$$Z_{\text{заг}} = 3 \cdot 23,69 = 71,06 \text{ люд.-год}$$

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{заг}} / F, \text{ люд.-год/га} \quad (2.29)$$

$$Z_{\text{п}} = 71,06 / 100 = 0,71 \text{ люд.-год/га}$$

Операційно-технологічна карта

За результатами виконаних розрахунків складено операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого, яка наведена у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Операційно-технологічна карта збирання ріпаку озимого

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Площа поля	F	100	га
Урожайність	У	3,5	т/га
Валовий збір	Q	350	т
Ширина захвату жатки	B _р	9,1	м
Робоча швидкість	V _р	6	км/год
Коефіцієнт робочих ходів	φ	0.943	-
Коефіцієнт використання часу зміни	τ	0.82	-
Теоретична продуктивність	W _т	5.46	га/год

Експлуатаційна продуктивність	$W_{\text{год}}$	4.22	га/год
Змінна продуктивність	$W_{\text{зм}}$	29.55	га/зм
Кількість нормо-змін	$H_{\text{зм}}$	3.38	зміни
Загальна тривалість роботи	$T_{\text{заг}}$	23.69	год
Кількість циклів ПБН-16	$n_{\text{ПБН}}$	34	цикли
Кількість рейсів зерновоза	$n_{\text{авт}}$	15	рейсів
Загальна витрата пального	$G_{\text{заг}}$	2035	л
Затрати праці	$Z_{\text{заг}}$	71.06	люд.-год

Контроль та оцінка якості роботи

Контроль якості збирання ріпаку озимого здійснюється протягом усього періоду роботи комбайна. Основними показниками якості є втрати насіння за жаткою і молотильно-сепарувальним апаратом, чистота зернової маси, відсутність надмірного дроблення насіння та рівномірність роботи вивантажувальної системи.

Втрати за комбайном визначають шляхом огляду контрольних ділянок після проходу машини. За необхідності виконують додаткове регулювання частоти обертання барабана, зазору підбарабання, швидкості вентилятора та положення решіт. Якість перевантаження зерна ПБН-16 контролюють за рівномірністю подавання зернової маси, відсутністю просипання та стабільністю роботи вивантажувального шнека.

Особливу увагу необхідно приділяти недопущенню простоїв комбайна. У разі затримки ПБН-16 або автомобільного транспорту продуктивність збиральної ланки знижується, а тривалість збирання збільшується. Тому диспетчеризація руху машин і своєчасне перевантаження зерна є обов'язковими умовами якісної організації процесу.

Охорона праці при виконанні збирання ріпаку озимого

До роботи на зернозбиральному комбайні, тракторі з ПБН-16 та автомобільному транспорті допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці та мають відповідну кваліфікацію. Перед початком роботи необхідно перевірити справність гальмівних систем, рульового керування, освітлення, сигналізації, карданних передач, захисних кожухів та гідравлічних систем.

Забороняється перебувати поблизу працюючого вивантажувального шнека, виконувати очищення робочих органів під час руху або при увімкненому приводі, а також знаходитися між комбайном, ПБН-16 та автомобілем під час маневрування. Усі регулювання та очищення виконуються лише після повної зупинки агрегату та вимкнення приводу робочих органів.

Під час збирання ріпаку необхідно дотримуватися вимог пожежної безпеки. Комбайн, трактор і автомобіль повинні бути обладнані справними вогнегасниками. Не допускається накопичення рослинних решток біля гарячих частин двигуна та вихлопної системи. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту та підтримувати постійний візуальний і звуковий зв'язок між учасниками збирального процесу.

Висновок

Розроблена операційно-технологічна карта збирання ріпаку озимого передбачає використання збирально-транспортної ланки у складі комбайна John Deere S770, трактора John Deere 6195M з причепом-бункером накопичувачем ПБН-16 та автомобільного зернового вантажопідйомністю 24 т. Для площі 100 га та урожайності 3.5 т/га валовий збір становить 350 т.

За прийнятих умов ширина захвату жатки становить 9.1 м, робоча швидкість комбайна - 6.0 км/год, експлуатаційна продуктивність - 4.22 га/год, змінна продуктивність - 29.55 га/зм, а загальна тривалість збирання - 23.69 год. Для перевантаження врожаю необхідно виконати 34 цикли роботи ПБН-16 та 15 рейсів автомобільного зернового.

Загальна витрата пального на виконання операції становить 2035 л, або 1689.0 кг, а загальні затрати праці - 71.06 люд.-год. Отримані показники підтверджують доцільність застосування ПБН-16 у складі збирально-транспортної ланки та обґрунтовують подальше удосконалення його вивантажувального шнека з метою скорочення часу перевантаження зерна ріпаку.

2.4. Висновки до розділу

У другому розділі дипломної роботи проведено аналіз технології збирання ріпаку озимого та встановлено, що найбільш ефективним способом збирання в сучасних умовах є пряме комбайнування із застосуванням високопродуктивних зернозбиральних комбайнів та спеціалізованих ріпакових пристосувань. Визначено, що використання ріпакових столів і бокових ножів дозволяє зменшити втрати насіння під час зрізування рослин та підвищити якість виконання технологічного процесу.

Виконано аналіз сучасної техніки для збирання та транспортування врожаю ріпаку. Для умов роботи обрано зернозбиральний комбайн John Deere S770 із шириною захвату жатки 9,1 м та причіп-бункер накопичувач ПБН-16, який забезпечує приймання зерна від комбайна без його зупинки та подальше перевантаження в автомобільний транспорт. Встановлено, що застосування бункера накопичувача дозволяє підвищити ефективність використання збиральної техніки та скоротити непродуктивні простой.

Розроблено операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого на площі 100 га при урожайності 3,5 т/га. В результаті розрахунків встановлено, що валовий збір культури становить 350 т. Теоретична продуктивність комбайна John Deere S770 склала 5,46 га/год, а експлуатаційна продуктивність з урахуванням умов роботи – 4,22 га/год. Змінна продуктивність комбайна становить 29,55 га/зм, а загальна тривалість виконання операції – 23,69 год.

Під час кінематичного розрахунку визначено ширину поворотної смуги 21,02 м, робочу довжину гону 1157,97 м та коефіцієнт робочих ходів 0,943, що свідчить про раціональну організацію руху агрегатів у полі та високий рівень використання робочого часу.

Тяговим розрахунком агрегату John Deere 6195М з причепом-бункером накопичувачем ПБН-16 встановлено, що сумарний тяговий опір становить 21,04 кН, а необхідна потужність для його роботи – 82,5 кВт (112 к.с.). Це підтверджує достатній запас потужності трактора та можливість ефективної роботи агрегату в польових умовах.

Встановлено, що місткість бункера ПБН-16 забезпечує одночасне накопичення 10,4 т насіння ріпаку, а для збирання врожаю з площі 100 га необхідно виконати 34 цикли його роботи. Годинний потік зерна від комбайна становить 14,78 т/год, що підтверджує доцільність використання бункера накопичувача у складі збирально-транспортної ланки.

Розрахунок транспортного процесу показав, що для перевезення 350 т ріпаку достатньо одного автомобільного зернового вантажопідйомністю 24 т, який виконає 15 рейсів. Годинна транспортна продуктивність автомобіля становить 24,77 т/год, що забезпечує безперебійне відведення зерна від місця збирання.

Загальна витрата дизельного пального на виконання операції становить 2035 л або 1689 кг, а затрати праці – 71,06 люд.-год, що відповідає 0,71 люд.-год на 1 га площі збирання. Отримані результати підтверджують ефективність прийнятої технологічної схеми та створюють основу для подальшого удосконалення роботи причепа-бункера накопичувача ПБН-16 шляхом модернізації його вивантажувальної системи у третьому розділі дипломної роботи.

3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЧЕПА-БУНКЕРА НАКОПИЧУВАЧА ПБН-16

3.1. Аналіз конструкції та технічних характеристик ПБН-16

Причіп-бункер накопичувач ПБН-16 належить до сучасних засобів механізації транспортно-перевантажувальних процесів під час збирання зернових та олійних культур. Основним призначенням машини є приймання зерна від зернозбиральних комбайнів безпосередньо під час їх роботи, тимчасове накопичення зернової маси, транспортування врожаю в межах поля та подальше перевантаження у транспортні засоби.

Використання бункерів накопичувачів дозволяє усунути простой зернозбиральних комбайнів, пов'язані з очікуванням транспортних засобів. При цьому автомобільний транспорт не заїжджає на поле, що сприяє зменшенню ущільнення ґрунту та покращує організацію збирально-транспортного процесу.

Конструктивно ПБН-16 складається з несучої рами, кузова-бункера, ходової системи, дишла, гальмівної системи, шнекового перевантажувального пристрою та приводу робочих органів. Основним робочим вузлом машини є вивантажувальний шнек, за допомогою якого здійснюється транспортування зерна із бункера до місця перевантаження [15].

Під час роботи причіп-бункер рухається поряд із зернозбиральним комбайном та приймає зерно безпосередньо з його вивантажувального шнека. Після заповнення бункера машина транспортує зерно до краю поля або спеціально підготовленого майданчика, де виконується його перевантаження в автомобільний транспорт.

Основними перевагами використання ПБН-16 є висока місткість бункера, можливість роботи без зупинки комбайна, скорочення непродуктивних втрат часу та підвищення продуктивності збирального комплексу. Завдяки цьому забезпечується більш повне використання робочого

часу зернозбиральних машин та зменшується собівартість виконання збиральних робіт [12]. Основні технічні характеристики ПБН-16 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика ПБН-16

Параметр	Позначення	Значення
Діаметр шнека	D	400 мм
Частота обертання	n	350 об/хв
Довжина шнека	L	4,5 м
Початковий крок витка	S	320 мм
Насипна густина ріпаку	γ	650 кг/м ³
Коефіцієнт заповнення	ϕ	0,35

Незважаючи на достатньо високу ефективність роботи ПБН-16, аналіз його конструкції показує, що продуктивність перевантаження зерна значною мірою визначається параметрами вивантажувального шнека. У серійній конструкції використовується шнек із постійним кроком витків по всій довжині робочого органу. Вивантажувальний шнек причепа-бункера накопичувача зображено на рисунку 3.1.



Рис. 3.1 – Вивантажувальний шнек причепа-бункера накопичувача

Під час переміщення зернової маси вздовж шнека виникають локальні зони ущільнення матеріалу, що призводить до нерівномірності потоку та збільшення часу повного вивантаження бункера. Особливо це проявляється

під час роботи з високоврожайними культурами або за необхідності інтенсивного перевантаження зерна у великовантажний транспорт.

Аналіз конструкції ПБН-16 показав, що найбільш перспективним напрямком удосконалення є модернізація вивантажувального шнека. Застосування шнека зі змінним (прискорювальним) кроком витків дозволить підвищити швидкість переміщення зернової маси, збільшити продуктивність перевантаження та скоротити тривалість робочого циклу причепа-бункера накопичувача.

3.2. Обґрунтування модернізації вивантажувального шнека ПБН-16

Ефективність роботи збирально-транспортної ланки значною мірою залежить від швидкості виконання операцій накопичення та перевантаження зерна. У сучасних умовах використання високопродуктивних зернозбиральних комбайнів продуктивність транспортно-перевантажувальних засобів повинна відповідати темпам надходження зернової маси від збиральної техніки. Недостатня продуктивність окремих елементів технологічного процесу призводить до виникнення простоїв, збільшення тривалості робочого циклу та зниження загальної ефективності використання машинно-тракторного парку.

Проведений у попередньому підрозділі аналіз конструкції причепа-бункера накопичувача ПБН-16 показав, що одним із найбільш відповідальних вузлів машини є вивантажувальний шнек. Саме він забезпечує переміщення зернової маси від бункера до місця перевантаження в транспортні засоби. Від його конструктивних параметрів залежить продуктивність перевантаження, тривалість робочого циклу та загальна ефективність використання машини [12].

У серійній конструкції ПБН-16 використовується шнек із постійним кроком витків по всій довжині робочого органу. Така конструкція є технологічно простою та надійною, однак має ряд недоліків. У процесі роботи

зернова маса поступово накопичується вздовж транспортуючого каналу, внаслідок чого виникають додаткові опори переміщенню матеріалу. Це призводить до нерівномірності потоку зерна та збільшення навантаження на привід шнека.

Особливо помітними зазначені недоліки стають під час роботи з високопродуктивними зернозбиральними комбайнами, коли обсяг зерна, що надходить на перевантаження, значно збільшується. У таких умовах час повного спорожнення бункера накопичувача стає одним із факторів, що обмежують продуктивність усієї збирально-транспортної ланки.

Аналіз роботи шнекових транспортуючих систем показує, що одним із найбільш ефективних способів підвищення продуктивності є застосування змінного кроку витків. Принцип роботи такої конструкції полягає в поступовому збільшенні кроку шнека в напрямку переміщення зернової маси. Завдяки цьому об'єм між сусідніми витками поступово зростає, що забезпечує прискорення потоку матеріалу та зменшення його ущільнення всередині транспортуючого каналу [16].

Запропонована модернізація передбачає використання прискорювальної геометрії шнека, при якій крок витків змінюється від початкового значення в зоні забору зерна до збільшеного значення в зоні вивантаження. Така конструкція дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження вздовж робочого органу та покращити умови транспортування зернової маси. Шнековий транспортуючий робочий орган наведено на рисунку 3.2.

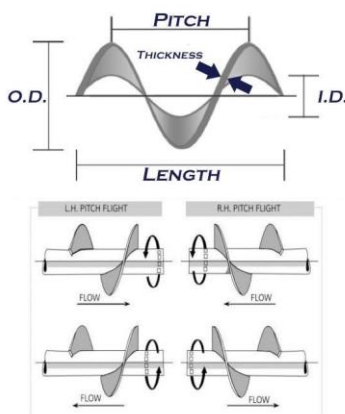


Рисунок 3.2 – Шнековий транспортуючий робочий орган

Збільшення кроку витків у напрямку руху зернової маси забезпечує підвищення швидкості транспортування та зменшення ущільнення матеріалу.

Основними перевагами запропонованої конструкції є:

- підвищення продуктивності перевантаження зерна;
- скорочення часу повного вивантаження бункера;
- зменшення нерівномірності потоку зернової маси;
- зниження ймовірності локального ущільнення матеріалу;
- покращення умов роботи приводу шнека;
- підвищення загальної ефективності використання причепа-бункера накопичувача.

Для оцінки ефективності запропонованого технічного рішення необхідно виконати порівняльний розрахунок продуктивності серійного та модернізованого шнека. Особливу увагу слід приділити визначенню пропускної здатності транспортуючої системи, швидкості переміщення зернової маси та впливу зміни геометричних параметрів на потужність приводу. Вихідні параметри для виконання інженерних розрахунків наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку модернізованого шнека

Показник	Позначення	Значення
Діаметр шнека	D	400 мм
Довжина шнека	L	4,5 м
Частота обертання	n	350 об/хв
Початковий крок витка	S ₁	320 мм
Кінцевий крок витка	S ₂	450 мм
Насипна густина ріпаку	γ	650 кг/м ³
Коефіцієнт заповнення	ϕ	0,35

Таким чином, для підвищення ефективності роботи причепа-бункера накопичувача ПБН-16 запропоновано модернізацію вивантажувального шнека

шляхом застосування прискорювальної геометрії витків. Очікується, що використання шнека зі змінним кроком дозволить збільшити продуктивність перевантаження зерна, скоротити тривалість робочого циклу машини та підвищити ефективність роботи всієї збирально-транспортної ланки під час збирання ріпаку озимого.

3.3. Розрахунок модернізованого шнека ПБН-16

Метою інженерного розрахунку є оцінка працездатності та ефективності запропонованої модернізації вивантажувального шнека причепа-бункера накопичувача ПБН-16. У попередніх підрозділах встановлено, що продуктивність вивантажувальної системи безпосередньо впливає на тривалість робочого циклу бункера та на ефективність роботи всієї збирально-транспортної ланки під час збирання ріпаку озимого.

У серійній конструкції вивантажувальний шнек має постійний крок витків по всій довжині. Така схема є простою у виготовленні, проте при інтенсивному переміщенні зернової маси може спричиняти нерівномірність потоку та локальне ущільнення матеріалу. Для підвищення продуктивності запропоновано використати шнек зі змінним кроком витків, у якому крок поступово збільшується у напрямку руху зернової маси.

Модернізація не передбачає суттєвої зміни габаритів вивантажувального вузла та зберігає базовий діаметр шнека. Основна зміна полягає у використанні прискорювальної геометрії витків: у зоні забору зерна крок залишається меншим, а в напрямку до зони вивантаження поступово збільшується. Це дозволяє збільшити об'єм між сусідніми витками та підвищити пропускну здатність транспортуючого органу. Вихідні дані для інженерного розрахунку шнека ПБН-16 наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Вихідні дані для інженерного розрахунку шнека ПБН-16

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Зовнішній діаметр шнека	D	0,40	м
Діаметр вала шнека	d	0,08	м
Розрахункова довжина шнека	L	4,5	м
Частота обертання шнека	n	350	об/хв
Крок серійного шнека	S	0,32	м
Початковий крок модернізованого шнека	S ₁	0,32	м
Середній крок модернізованого шнека	S ₂	0,38	м
Кінцевий крок модернізованого шнека	S ₃	0,45	м
Насипна густина насіння ріпаку	ρ	650	кг/м ³
Коефіцієнт заповнення серійного шнека	φ ₁	0,35	-
Коефіцієнт заповнення модернізованого шнека	φ ₂	0,36	-

Розрахункова схема базується на припущенні, що шнек працює у сталому режимі, зернова маса подається рівномірно, а привід забезпечує необхідну частоту обертання. Для ріпаку прийнято насипну густину 650 кг/м³. Значення коефіцієнтів заповнення прийнято з урахуванням того, що дрібне насіння ріпаку має високу сипучість, але при роботі похилого шнека заповнення міжвиткового простору не є повним [5].

Визначення площі живого перерізу шнека

Площа поперечного перерізу між зовнішнім діаметром шнека та валом визначається за формулою:

$$A = \rho_i * (D^2 - d^2) / 4, \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

де D - зовнішній діаметр шнека, м; d - діаметр вала шнека, м.

$$A = 3,14 * (0.40^2 - 0.08^2) / 4 = 0.1206 \text{ м}^2$$

Отже, розрахункова площа транспортуючого перерізу становить 0.1206 м². Саме через цей переріз відбувається переміщення зернової маси вздовж вивантажувального шнека.

Розрахунок продуктивності серійного шнека

Об'ємна продуктивність шнека визначається за залежністю:

$$Q_v = 60 * A * S * n * \varphi * \xi, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.2)$$

де A - площа живого перерізу шнека, м²; S - крок витка, м; n - частота обертання, об/хв; φ - коефіцієнт заповнення; ξ - коефіцієнт, що враховує втрати продуктивності при транспортуванні зернової маси.

$$Q_{v1} = 60 * 0.1206 * 0.32 * 350 * 0.35 * 0.75 = 212.8 \text{ м}^3/\text{год}$$

Масова продуктивність визначається з урахуванням насипної густини насіння ріпаку:

$$Q_m = Q_v * \rho / 1000, \text{ т/год} \quad (3.3)$$

$$Q_{m1} = 212.8 * 650 / 1000 = 138.3 \text{ т/год}$$

Таким чином, розрахункова продуктивність серійного шнека з постійним кроком витків становить 138.3 т/год.

Розрахунок продуктивності модернізованого шнека

Для модернізованої конструкції приймається змінний крок витків. Початковий крок у зоні забору зерна дорівнює 0,32 м, середній крок - 0,38 м, а кінцевий крок у зоні вивантаження - 0,45 м. Середній розрахунковий крок визначаємо за формулою:

$$S_{cp} = (S_1 + S_2 + S_3) / 3, \text{ м} \quad (3.4)$$

$$S_{cp} = (0.32 + 0.38 + 0.45) / 3 = 0.383 \text{ м}$$

Під час роботи шнека зі змінним кроком міжвитковий об'єм збільшується у напрямку переміщення зернової маси. Це знижує ущільнення матеріалу та дозволяє прийняти дещо більший коефіцієнт заповнення.

$$Q_{v2} = 60 * 0.1206 * 0.383 * 350 * 0.36 * 0.78 = 272.7 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$Q_{m2} = 272.7 * 650 / 1000 = 177.3 \text{ т/год}$$

Розрахункова продуктивність модернізованого шнека становить 177.3 т/год.

Визначення приросту продуктивності

Приріст продуктивності модернізованого шнека порівняно із серійним визначаємо за формулою:

$$\Delta Q = ((Q_{m2} - Q_{m1}) / Q_{m1}) * 100 \%, \quad (3.5)$$

$$\Delta Q = ((177.3 - 138.3) / 138.3) * 100 = 28.1 \%$$

Отже, застосування шнека з прискорювальною геометрією витків дозволяє підвищити розрахункову продуктивність вивантаження на 28.1 %. Це є достатньо суттєвим показником для збирально-транспортної ланки, оскільки навіть скорочення часу одного циклу перевантаження зменшує простой техніки у період масового збирання.

Таблиця 3.5 - Порівняння продуктивності серійного та модернізованого шнека

Показник	Серійний шнек	Модернізований шнек
Крок витка, м	0,32	0,32-0,45
Середній розрахунковий крок, м	0,320	0.383
Коефіцієнт заповнення	0,35	0,36
Об'ємна продуктивність, м³/год	212.8	272.7
Масова продуктивність, т/год	138.3	177.3
Приріст продуктивності, %	-	28.1

Розрахунок часу вивантаження бункера

У другому розділі встановлено, що місткість ПБН-16 за насінням ріпаку становить 10,4 т. Час повного вивантаження бункера визначаємо за формулою:

$$t = G / Q_m * 60, \text{ хв} \quad (3.6)$$

де G - маса ріпаку у бункері, т; Q_m - масова продуктивність шнека, т/год.

$$t_1 = 10.4 / 138.3 * 60 = 4.51 \text{ хв}$$

$$t_2 = 10.4 / 177.3 * 60 = 3.52 \text{ хв}$$

$$\Delta t = 4.51 - 3.52 = 0.99 \text{ хв}$$

Отже, модернізація дозволяє скоротити час повного вивантаження одного бункера приблизно на 0.99 хв. Для 34 циклів роботи ПБН-16, визначених в операційно-технологічній карті, сумарне скорочення часу становить:

$$T_{\text{ск}} = 0.99 * 34 = 33.7 \text{ хв} = 0.56 \text{ год}$$

Отриманий результат свідчить, що модернізація має не лише локальний ефект у межах роботи одного шнека, а й технологічний ефект для всієї збирально-транспортної ланки.

Таблиця 3.6 - Вплив модернізації на час вивантаження ПБН-16

Показник	Серійний шнек	Модернізований шнек
Маса ріпаку у бункері, т	10.4	10.4
Продуктивність шнека, т/год	138.3	177.3
Час вивантаження одного бункера, хв	4.51	3.52
Скорочення часу на один цикл, хв	-	0.99
Кількість циклів за поле 100 га	34	34
Сумарне скорочення часу, год	-	0.56

Розрахунок потужності приводу шнека

Необхідна потужність приводу шнека залежить від продуктивності, довжини транспортування, висоти підйому зернової маси та опору переміщенню матеріалу. Для орієнтовного інженерного розрахунку використаємо залежність:

$$N = Q_m * (\varphi * L + H) / (367 * \tau), \text{ кВт} \quad (3.7)$$

де Q_m - масова продуктивність шнека, т/год; φ - коефіцієнт опору переміщенню зернової маси; L - довжина шнека, м; H - висота підйому зерна, м; τ - ККД приводу.

Для розрахунку приймаємо: $\varphi = 4,0$; $L = 4,5$ м; $H = 3,2$ м; $\tau = 0,78$.

$$N_1 = 138.3 * (4,0 * 4.5 + 3.2) / (367 * 0,78) = 10.24 \text{ кВт}$$

$$N_2 = 177.3 * (4,0 * 4.5 + 3.2) / (367 * 0,78) = 13.13 \text{ кВт}$$

З урахуванням нерівномірності подачі зерна, пускових навантажень та можливого збільшення опору при роботі з вологішим матеріалом вводимо коефіцієнт запасу $k = 1,15$.

$$N_{\text{роз}} = N_2 * k, \text{ кВт} \quad (3.8)$$

$$N_{\text{роз}} = 13.13 * 1,15 = 15.10 \text{ кВт}$$

Для модернізованого шнека необхідна розрахункова потужність приводу становить близько 15.10 кВт. Отримане значення є прийнятним для приводу вивантажувальної системи ПБН-16 і не потребує принципової зміни конструкції приводу.

Розрахунок крутного моменту на валу шнека

Крутний момент на валу визначаємо за формулою:

$$M_{\text{кр}} = 9550 * N_{\text{роз}} / n, \text{ Н*м} \quad (3.9)$$

$$M_{\text{кр}} = 9550 * 15.10 / 350 = 411.9 \text{ Н*м}$$

Розрахунковий крутний момент на валу модернізованого шнека становить 411.9 Н*м.

Перевірка вала шнека на кручення

Для перевірки міцності вала приймаємо діаметр вала у небезпечному перерізі $d_b = 60$ мм. Полярний момент опору круглого суцільного перерізу визначається за формулою:

$$W_p = \rho * d_b^3 / 16, \text{ м}^3 \quad (3.10)$$

$$W_p = 3,14 * 0,060^3 / 16 = 0.00004241 \text{ м}^3$$

Дотичні напруження від кручення визначаємо за формулою:

$$\tau = M_{\text{кр}} / W_p, \text{ Па} \quad (3.11)$$

$$\tau = 411.9 / 0.00004241 = 9.71 \text{ МПа}$$

Для вала, виготовленого зі сталі 45, допустимі дотичні напруження при спокійному режимі роботи можна прийняти на рівні 40 МПа. Коефіцієнт запасу міцності становить:

$$n_3 = [\tau] / \tau \quad (3.12)$$

$$n_3 = 40.0 / 9.71 = 4.12$$

Оскільки коефіцієнт запасу міцності більший за одиницю та становить 4.12, вал модернізованого шнека задовольняє умову міцності на кручення.

Перевірка валу на згин та сумісну дію навантажень

Під час роботи вал шнека сприймає не лише крутний момент, а й навантаження від власної маси, маси витків і частини зернової маси, що знаходиться в міжвитковому просторі. Для наближеної перевірки приймаємо: маса валу - 85 кг, маса витків - 65 кг, маса зерна в робочій зоні - 60 кг.

$$G = (m_v + m_{\text{вит}} + m_3) * g, \text{ Н} \quad (3.13)$$

$$G = (85 + 65 + 60) * 9,81 = 2060 \text{ Н}$$

За умови рівномірного розподілу навантаження між двома опорами реакція кожної опори становить:

$$R = G / 2, \text{ Н} \quad (3.14)$$

$$R = 2060 / 2 = 1030 \text{ Н}$$

Максимальний згинальний момент для спрощеної схеми балки на двох опорах визначаємо за формулою:

$$M_{\text{зг}} = G * L / 4, \text{ Н*м} \quad (3.15)$$

$$M_{\text{зг}} = 2060 * 4.5 / 4 = 2318 \text{ Н*м}$$

Момент опору круглого перерізу при згині:

$$W = p_i * d_v^3 / 32, \text{ м}^3 \quad (3.16)$$

$$W = 3,14 * 0,060^3 / 32 = 0.00002121 \text{ м}^3$$

Нормальні напруження від згину:

$$\xi = M_{\text{зг}} / W, \text{ Па} \quad (3.17)$$

$$\xi = 2318 / 0.00002121 = 109.29 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження при одночасній дії згину і кручення визначаємо за формулою:

$$\xi_{\text{екв}} = q (\xi^2 + 3 * \tau^2), \text{ МПа} \quad (3.18)$$

$$\xi_{\text{екв}} = q (109.29^2 + 3 * 9.71^2) = 110.58 \text{ МПа}$$

Для сталі 45 допустимі напруження на згин при прийнятих умовах роботи приймаємо $\xi = 160$ МПа. Коефіцієнт запасу за еквівалентними напруженнями:

$$n = [\xi] / \xi_{\text{екв}} \quad (3.19)$$

$$n = 160 / 110.58 = 1.45$$

Отриманий коефіцієнт запасу становить 1.45, тому вал модернізованого шнека задовольняє умову міцності при сумісній дії згину і кручення.

Перевірка підшипникових опор

Підшипникові опори сприймають радіальні навантаження від маси шнека, зернової маси та динамічних навантажень під час роботи. Для попередньої оцінки приймаємо радіальне навантаження на одну опору $R = 1030$ Н. З урахуванням коефіцієнта динамічності $k_d = 1,3$ розрахункове навантаження становить:

$$P = R * k_d, \text{ Н} \quad (3.20)$$

$$P = 1030 * 1,3 = 1339 \text{ Н}$$

Для встановлення у підшипниковій опорі може бути прийнятий радіальний кульковий підшипник середньої серії, динамічна вантажопідйомність якого перевищує розрахункове навантаження. З огляду на відносно невелике радіальне навантаження та частоту обертання 350 об/хв, підшипникові опори мають достатній запас працездатності.

У процесі експлуатації особливу увагу необхідно приділяти своєчасному мащенню підшипників, контролю нагрівання корпусів, відсутності осьового перекосу та вібрацій. Це дозволить забезпечити стабільну роботу модернізованого шнека та зменшити ризик передчасного зношування вузлів.

Оцінка технологічної ефективності модернізації

Технологічна ефективність модернізації визначається насамперед збільшенням продуктивності вивантаження та скороченням часу робочого циклу ПБН-16. При збиранні ріпаку озимого на площі 100 га кількість циклів роботи ПБН-16 становить 34. Тому скорочення часу одного вивантаження навіть на 1 хв забезпечує помітний сумарний ефект у межах всієї операції.

Запропонована конструкція не змінює загальну схему роботи причепа-бункера накопичувача та не потребує зміни технологічного процесу. Модернізація може бути реалізована шляхом виготовлення нового шнека зі змінним кроком витків або заміни робочої частини існуючого шнека.

Таблиця 3.7 - Підсумкові результати інженерного розрахунку

Показник	Значення
Продуктивність серійного шнека, т/год	138.3
Продуктивність модернізованого шнека, т/год	177.3
Приріст продуктивності, %	28.1
Час вивантаження серійного шнека, хв	4.51
Час вивантаження модернізованого шнека, хв	3.52
Скорочення часу одного циклу, хв	0.99
Сумарне скорочення часу за 34 цикли, год	0.56
Розрахункова потужність приводу, кВт	15.10
Крутний момент на валу, Н*м	411.9
Напруження від кручення, МПа	9.71
Еквівалентні напруження, МПа	110.58
Коефіцієнт запасу міцності валу	1.45

У результаті виконаного інженерного розрахунку встановлено, що застосування модернізованого шнека зі змінним кроком витків дозволяє збільшити продуктивність вивантаження з 138.3 до 177.3 т/год, тобто на 28.1 %. Час повного вивантаження ПБН-16 при масі ріпаку 10,4 т скорочується з 4.51 до 3.52 хв. Для 34 циклів роботи бункера на площі 100 га це забезпечує сумарне скорочення часу перевантаження приблизно на 0.56 год.

Розрахунок потужності показав, що для роботи модернізованого шнека необхідна потужність приводу близько 15.10 кВт. Перевірка вала діаметром 60 мм на кручення та сумісну дію згину і кручення підтвердила його

працездатність: еквівалентні напруження становлять 110.58 МПа, а коефіцієнт запасу міцності дорівнює 1.45.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність запропонованої модернізації вивантажувального шнека ПБН-16. Використання прискорювальної геометрії витків дозволяє підвищити продуктивність перевантаження зерна, скоротити тривалість робочого циклу та покращити ефективність роботи збирально-транспортної ланки під час збирання ріпаку озимого.

3.4 Висновок до розділу

У третьому розділі проведено аналіз конструкції та технічних характеристик причепа-бункера накопичувача ПБН-16, який використовується у складі збирально-транспортної ланки під час збирання ріпаку озимого. Встановлено, що одним із найбільш відповідальних вузлів машини є вивантажувальний шнек, від параметрів якого безпосередньо залежить швидкість перевантаження зерна, тривалість робочого циклу та ефективність використання збиральної техніки.

У результаті аналізу конструкції ПБН-16 обґрунтовано доцільність модернізації вивантажувального шнека шляхом застосування прискорювальної геометрії витків зі змінним кроком. Запропоноване технічне рішення дозволяє збільшити міжвитковий об'єм шнека в напрямку переміщення зернової маси, зменшити її ущільнення та забезпечити більш рівномірний рух матеріалу до зони вивантаження.

У процесі інженерного розрахунку встановлено, що продуктивність серійного шнека становить 138,3 т/год, тоді як продуктивність модернізованого шнека досягає 177,3 т/год. Таким чином, використання шнека зі змінним кроком витків забезпечує підвищення продуктивності перевантаження на 28,1 %.

Визначено, що час повного вивантаження бункера місткістю 10,4 т скорочується з 4,51 до 3,52 хв, тобто на 0,99 хв. Для розрахункової площі збирання 100 га сумарне скорочення часу перевантаження становить 0,56 год, що сприяє підвищенню ефективності роботи всієї збирально-транспортної ланки.

Розрахунок потужності приводу показав, що для забезпечення роботи модернізованого шнека необхідна потужність становить 15,10 кВт. Визначений крутний момент на валу дорівнює 411,9 Н·м. Перевіркою на міцність встановлено, що дотичні напруження від кручення становлять 9,71 МПа, а еквівалентні напруження – 110,58 МПа, що не перевищує допустимих значень для сталі 45. Коефіцієнт запасу міцності вала становить 1,45, що підтверджує надійність роботи конструкції.

Проведена перевірка підшипникових опор також підтвердила їх працездатність при розрахунковому навантаженні 1339 Н. Отримані результати свідчать про технічну доцільність та ефективність запропонованої модернізації.

Таким чином, застосування модернізованого шнека зі змінним кроком витків у конструкції ПБН-16 дозволяє підвищити продуктивність перевантаження ріпаку, скоротити тривалість технологічних операцій, зменшити простої збиральної техніки та підвищити ефективність функціонування збирально-транспортної ланки під час збирання врожаю.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні вимоги охорони праці під час збирання та транспортування ріпаку озимого

Збирання ріпаку озимого належить до найбільш відповідальних технологічних операцій у рослинництві, оскільки виконується в стислі агротехнічні строки та супроводжується використанням високопродуктивних зернозбиральних комбайнів, транспортних засобів і причепів-бункерів накопичувачів. Робота збирально-транспортної ланки пов'язана з підвищеною небезпекою через наявність рухомих механізмів, значну масу машин, роботу в умовах підвищеної запиленості та постійне переміщення техніки по полю і дорогах господарства.

До виконання робіт допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам роботи та мають посвідчення на право керування відповідними видами техніки. Працівники повинні бути ознайомлені з технологічною картою виконання робіт, правилами пожежної безпеки та порядком дій у разі виникнення аварійних ситуацій [10].

Перед початком робіт необхідно виконати технічний огляд усіх машин, що входять до складу збирально-транспортної ланки. Особливу увагу слід приділити справності гальмівних систем, рульового керування, світлової сигналізації, карданних передач, гідравлічних систем та робочих органів комбайна і причепа-бункера ПБН-16. Не допускається експлуатація машин із несправними гальмами, підтіканням палива, пошкодженими захисними кожухами або несправною системою сигналізації.

Під час роботи зернозбирального комбайна та причепа-бункера накопичувача забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи машин. Відстань між працюючими агрегатами повинна забезпечувати безпечне виконання маневрів та виключати можливість зіткнення техніки. Усі операції

з очищення, регулювання або ремонту робочих органів дозволяється виконувати лише після повної зупинки двигуна та вимкнення приводів.

Особливу небезпеку становлять операції перевантаження зерна. Під час роботи вивантажувального шнека ПБН-16 забороняється перебування людей поблизу рухомих елементів шнекової системи. Не допускається очищення або усунення забивань під час роботи механізму. Усі роботи повинні виконуватись лише після повної зупинки шнека та відключення приводу.

Під час виконання польових робіт у спекотний період року працівники повинні дотримуватись встановленого режиму праці та відпочинку, забезпечуватись питною водою та мати можливість перебувати у затінених місцях під час технологічних перерв. При виконанні робіт у нічний час усі машини повинні бути обладнані справними світловими приладами та сигнальними елементами [10].

Дотримання вимог охорони праці під час виконання збирально-транспортних робіт забезпечує безпечну експлуатацію техніки, зменшує ризик виробничого травматизму та сприяє підвищенню ефективності збирання ріпаку озимого.

4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи збирально-транспортної ланки

Під час збирання ріпаку озимого та виконання транспортно-перевантажувальних операцій працівники піддаються впливу комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Джерелами небезпеки є зернозбиральні комбайни, причепи-бункери накопичувачі, транспортні засоби, механізми приводу робочих органів, а також умови виконання польових робіт.

До основних небезпечних виробничих факторів належать:

- рухомі та обертові частини машин і механізмів;
- карданні передачі та вали відбору потужності;
- вивантажувальний шнек причепа-бункера накопичувача ПБН-16;

- рух транспортних засобів по полю та внутрішньогосподарських дорогах;
- можливість перекидання машин на нерівностях рельєфу;
- ризик падіння працівників під час обслуговування бункерів та робочих органів;
- підвищена пожежна небезпека внаслідок накопичення сухих рослинних решток;
- небезпека травмування під час технічного обслуговування та ремонтних робіт.

Особливу небезпеку під час роботи збирально-транспортної ланки становить експлуатація вивантажувального шнека ПБН-16. При обертанні шнека існує ризик захоплення одягу або частин тіла працівника рухомими елементами механізму. Тому будь-які роботи з очищення, регулювання або усунення забивань дозволяється виконувати лише після повної зупинки шнека та відключення його приводу.

Під час руху комбайнів і транспортних засобів існує небезпека наїзду на працівників, особливо в умовах обмеженої видимості, запиленості або під час виконання маневрів. Для запобігання аварійним ситуаціям необхідно суворо дотримуватись встановлених маршрутів руху та використовувати світлову і звукову сигналізацію.

До шкідливих виробничих факторів належать:

- підвищений рівень шуму;
- загальна та локальна вібрація;
- запиленість повітря робочої зони;
- вплив вихлопних газів дизельних двигунів;
- несприятливі метеорологічні умови;
- нервово-емоційне навантаження операторів техніки.

Рівень шуму в кабінах сучасних зернозбиральних комбайнів та тракторів може досягати 75–85 дБ. Тривалий вплив шуму призводить до зниження працездатності, підвищеної втомлюваності та погіршення

концентрації уваги оператора. Додатково на працівника впливають вібрації, що виникають під час руху техніки по нерівностях поля.

Під час збирання ріпаку в повітря виділяється значна кількість органічного пилу, частинок рослинних решток та домішок зернової маси. Тривале перебування у запиленому середовищі може негативно впливати на органи дихання та викликати подразнення слизових оболонок. Особливо високий рівень запиленості спостерігається під час перевантаження зерна із бункера комбайна до ПБН-16 та під час вивантаження в автомобільний транспорт [10].

Небезпечним фактором також є вплив відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння. Вихлопні гази містять оксиди азоту, оксид вуглецю та інші шкідливі речовини, які при тривалому впливі можуть негативно позначатися на стані здоров'я працівників.

Під час проведення збиральних робіт у літній період працівники зазнають впливу підвищеної температури повітря, сонячного випромінювання та значних фізичних навантажень. Це може спричиняти перегрів організму, зниження працездатності та погіршення уваги, що підвищує ризик виникнення нещасних випадків.

Для зниження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів необхідно підтримувати техніку у справному технічному стані, своєчасно виконувати технічне обслуговування машин, використовувати засоби індивідуального захисту, дотримуватись вимог виробничої санітарії та правил безпечної експлуатації сільськогосподарської техніки.

Таким чином, аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів показав, що найбільшу небезпеку під час збирання ріпаку озимого становлять рухомі частини машин, вивантажувальний шнек ПБН-16, транспортні засоби, шум, вібрація та запиленість повітря. Дотримання вимог охорони праці та застосування відповідних заходів безпеки дозволяє значно знизити ризик травматизму та професійних захворювань.

4.3. Заходи щодо забезпечення працівників засобами індивідуального захисту

Одним із найважливіших заходів щодо забезпечення безпечних умов праці під час збирання ріпаку озимого є своєчасне та повне забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Використання засобів індивідуального захисту дозволяє суттєво знизити вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів, попередити виробничий травматизм і професійні захворювання працівників.

Працівники збирально-транспортної ланки під час виконання технологічних операцій піддаються впливу підвищеного рівня шуму, вібрації, пилу, вихлопних газів, несприятливих погодних умов, а також ризику контакту з рухомими частинами машин і механізмів. У зв'язку з цим забезпечення засобами індивідуального захисту повинно здійснюватися відповідно до чинних вимог охорони праці та виробничої санітарії.

До основних засобів індивідуального захисту, які повинні використовуватися працівниками під час збирання ріпаку озимого, належать:

- спеціальний бавовняний або комбінований робочий одяг;
- захисне взуття із твердим носком та неслизькою підошвою;
- рукавиці для виконання ремонтних і налагоджувальних робіт;
- захисні окуляри для запобігання потраплянню пилу та механічних частинок в очі;
- респіратори для захисту органів дихання від пилу зерна та рослинних решток;
- головний убір для захисту від сонячного випромінювання;
- сигнальний жилет під час роботи поблизу транспортних засобів;
- навушники або протишумні вкладиші при тривалому перебуванні в зоні підвищеного шуму.

Механізатори, які працюють на зернозбиральних комбайнах, тракторах та транспортних засобах, повинні використовувати справний спецодяг, який не має звисаючих елементів і не може бути захоплений рухомими частинами

машин. Одяг повинен відповідати погодним умовам та забезпечувати комфортну роботу протягом усієї зміни.

Під час виконання робіт із технічного обслуговування або ремонту причепа-бункера накопичувача ПБН-16 особливу увагу необхідно приділяти захисту рук працівників. Для цього використовуються захисні рукавиці, які запобігають травмуванню гострими кромками металевих деталей та робочих органів шнекового механізму [10].

При перевантаженні зерна ріпаку та очищенні технологічного обладнання у повітря виділяється значна кількість пилу. Для захисту органів дихання необхідно застосовувати фільтрувальні респіратори, а для захисту очей – захисні окуляри закритого типу. Використання цих засобів дозволяє запобігти подразненню слизових оболонок та зменшити ризик виникнення професійних захворювань органів дихання.

Під час роботи в літній період року працівники повинні бути забезпечені головними уборами та достатньою кількістю питної води. Це дозволяє знизити негативний вплив високої температури повітря та сонячного випромінювання на організм людини.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У сучасних умовах аграрного виробництва важливим напрямком підвищення ефективності вирощування ріпаку озимого є раціональна організація збирально-транспортної ланки. Під час збирання врожаю значна частина робочого часу може втрачатися не на виконання основної технологічної операції, а на очікування транспортних засобів, перевантаження зерна та узгодження роботи комбайна, причепа-бункера накопичувача і автомобільного зерновоза.

У даній дипломній роботі запропоновано удосконалення причепа-бункера накопичувача ПБН-16 шляхом модернізації його вивантажувального шнека. Сутність модернізації полягає у застосуванні прискорювальної геометрії витків, за якої крок шнека поступово збільшується у напрямку руху зернової маси. Таке технічне рішення дозволяє збільшити пропускну здатність вивантажувального органу, скоротити час вивантаження бункера та зменшити простої машин у період збирання ріпаку озимого.

Економічна ефективність запропонованого рішення формується за рахунок скорочення тривалості перевантаження зерна, зменшення простоїв збиральної техніки, підвищення продуктивності транспортно-перевантажувального процесу та зниження організаційних втрат урожаю, пов'язаних із затримками під час збирання. Розрахунок економічної ефективності виконується на основі результатів технологічного та інженерного розділів дипломної роботи.

У другому розділі було розроблено операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого на площі 100 га. За урожайності 3,5 т/га валовий збір становить 350 т, а для перевантаження врожаю необхідно виконати 34 цикли роботи ПБН-16. У третьому розділі встановлено, що продуктивність серійного шнека становить 138,3 т/год, а модернізованого - 177,3 т/год. Час повного вивантаження одного бункера скорочується з 4,51 до 3,52 хв.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для економічного аналізу

Показник	Позначення	Значення
Площа збирання ріпаку за ОТК, га	F	100
Урожайність ріпаку, т/га	Y	3,5
Валовий збір з площі 100 га, т	Q	350
Кількість циклів ПБН-16 на 100 га	n _ц	34
Продуктивність серійного шнека, т/год	Q ₁	138,3
Продуктивність модернізованого шнека, т/год	Q ₂	177,3
Час вивантаження серійного шнека, хв	t ₁	4,51
Час вивантаження модернізованого шнека, хв	t ₂	3,52
Скорочення часу на один цикл, хв	Δt	0,99
Розрахункова потужність приводу, кВт	N	15,10
Вартість модернізації, грн	K _м	65000

Першим етапом економічного аналізу є визначення скорочення часу перевантаження зерна. Для одного циклу роботи ПБН-16 економія часу дорівнює різниці між часом вивантаження серійного та модернізованого шнека:

$$\Delta t = t_1 - t_2, \text{ хв} \quad (5.1)$$

$$\Delta t = 4,51 - 3,52 = 0,99 \text{ хв}$$

Сумарне скорочення часу перевантаження для площі 100 га визначається за формулою:

$$T_{100} = \Delta t * n_{\text{ц}} / 60, \text{ год} \quad (5.2)$$

$$T_{100} = 0,99 * 34 / 60 = 0,56 \text{ год}$$

Отже, лише на одному полі площею 100 га використання модернізованого шнека дозволяє скоротити тривалість перевантаження на 0,56 год. Оскільки причіп-бункер накопичувач протягом сезону

використовується не на одному полі, а на всьому масиві збиральних робіт господарства, річний ефект доцільно визначати з урахуванням сезонного завантаження машини.

Для економічної оцінки приймаємо, що протягом збирального сезону ПБН-16 використовується на площі, еквівалентній десяти полям по 100 га, тобто 1000 га. Такий підхід є логічним, оскільки бункер накопичувач застосовується не лише під час збирання одного поля ріпаку, а протягом усього збирального періоду для зернових та олійних культур. При цьому розрахунок зберігає прив'язку до отриманих у роботі показників продуктивності та циклів перевантаження.

$$T_{\text{сез}} = \Delta t * n_{\text{ц.сез}} / 60, \text{ год} \quad (5.3)$$

$$n_{\text{ц.сез}} = 34 * 10 = 340 \text{ циклів}$$

$$T_{\text{сез}} = 0,99 * 340 / 60 = 5,61 \text{ год}$$

Економія від скорочення простоїв збирально-транспортної ланки визначається за формулою:

$$E_{\text{пр}} = T_{\text{сез}} * C_{\text{г}}, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де $T_{\text{сез}}$ - сезонне скорочення часу перевантаження, год; $C_{\text{г}}$ - вартість однієї години простою збирально-транспортної ланки, грн/год. До складу цієї вартості входять витрати, пов'язані з простоем комбайна, трактора з ПБН-16, автомобільного транспорту та оплатою праці механізаторів. Для розрахунку приймаємо $C_{\text{г}} = 8400$ грн/год.

$$E_{\text{пр}} = 5,61 * 8400 = 47124 \text{ грн}$$

Крім прямого скорочення простоїв, модернізація вивантажувального шнека має додатковий технологічний ефект. Швидше перевантаження зерна дає змогу зменшити затримки під час збирання, краще використовувати продуктивність комбайна та знизити ризик організаційних втрат урожаю, що виникають через очікування транспорту або вимушені зупинки збирального агрегату. Для ріпаку це особливо важливо, оскільки культура має дрібне насіння і схильність до осипання при запізненні зі збиранням.

Додатковий ефект від зменшення організаційних втрат урожаю визначається за формулою:

$$E_{\text{вт}} = Q_{\text{сез}} * K_{\text{зм}} * Ц, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де $Q_{\text{сез}}$ - сезонний обсяг зібраного насіння, т; $K_{\text{зм}}$ - частка зменшення організаційних втрат урожаю; $Ц$ - розрахункова ціна 1 т насіння ріпаку, грн/т. Для розрахунку приймаємо $Q_{\text{сез}} = 3500$ т, $K_{\text{зм}} = 0,0005$, $Ц = 18000$ грн/т.

$$E_{\text{вт}} = 3500 * 0,0005 * 18000 = 31500 \text{ грн}$$

При цьому необхідно врахувати, що підвищення продуктивності шнека супроводжується певним збільшенням споживаної потужності під час вивантаження. У третьому розділі визначено, що потужність, необхідна для роботи серійного шнека, становить 10,24 кВт, а для модернізованого з урахуванням запасу - 15,10 кВт. Додаткову витрату пального визначаємо за формулою:

$$G_{\text{д}} = (N_2 - N_1) * T_{\text{роб}} * g_{\text{п}} / \rho_{\text{п}}, \text{ л} \quad (5.6)$$

де N_2 - потужність модернізованого шнека, кВт; N_1 - потужність серійного шнека, кВт; $T_{\text{роб}}$ - сезонний час роботи шнека, год; $g_{\text{п}}$ - питома витрата пального, кг/(кВт*год); $\rho_{\text{п}}$ - густина дизельного пального, кг/л.

$$T_{\text{роб}} = 3,52 * 340 / 60 = 19,95 \text{ год}$$

$$G_{\text{д}} = (15,10 - 10,24) * 19,95 * 0,25 / 0,83 = 29,2 \text{ л}$$

$$C_{\text{д}} = 29,2 * 58 = 1694 \text{ грн}$$

Загальний річний економічний ефект від модернізації визначається з урахуванням економії від скорочення простоїв, зменшення організаційних втрат урожаю та додаткових витрат на пальне:

$$E_{\text{р}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{вт}} - C_{\text{д}}, \text{ грн} \quad (5.7)$$

$$E_{\text{р}} = 47124 + 31500 - 1694 = 76930 \text{ грн}$$

Вартість модернізації включає виготовлення нового шнека зі змінним кроком витків, придбання матеріалів, оплату зварювальних і слюсарних робіт, балансування робочого органу, монтаж та перевірку працездатності вузла. Структура капітальних вкладень наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Орієнтовна структура витрат на модернізацію ПБН-16

Стаття витрат	Сума, грн
Матеріал для виготовлення витків та вала шнека	22000
Виготовлення шнека зі змінним кроком витків	18500
Підшипникові вузли, кріпильні елементи та витратні матеріали	7500
Монтаж, регулювання та балансування вузла	12000
Інші організаційно-технічні витрати	5000
Загальна вартість модернізації	65000

Термін окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_o = K_m / E_p, \text{ року} \quad (5.8)$$

$$T_o = 65000 / 76930 = 0,84 \text{ року}$$

Отримане значення показує, що капітальні вкладення на модернізацію ПБН-16 окупаються менше ніж за один рік експлуатації за умови сезонного використання машини у складі збирально-транспортної ланки.

Таблиця 5.3 - Аналіз техніко-економічних показників модернізації ПБН-16

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Продуктивність шнека, т/год	138,3	177,3
Приріст продуктивності, %	-	28,1
Час вивантаження одного бункера, хв	4,51	3,52
Скорочення часу на один цикл, хв	-	0,99
Скорочення часу на 100 га, год	-	0,56
Сезонне скорочення часу, год	-	5,61
Економія від скорочення простоїв, грн	-	47124

Ефект від зменшення організаційних втрат, грн	-	31500
Додаткові витрати на пальне, грн	-	1694
Річний економічний ефект, грн	-	76930
Вартість модернізації, грн	-	65000
Термін окупності, року	-	0,84

Проведений техніко-економічний аналіз підтверджує доцільність запропонованої модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16. Застосування шнека зі змінним кроком витків дозволяє підвищити продуктивність вивантаження з 138,3 до 177,3 т/год, тобто на 28,1 %. Це забезпечує скорочення часу повного вивантаження одного бункера з 4,51 до 3,52 хв.

Для площі 100 га сумарне скорочення часу перевантаження становить 0,56 год. За умови сезонного використання ПБН-16 на площі 1000 га економія часу досягає 5,61 год. У грошовому вираженні економія від скорочення простоїв становить 47124 грн. Додатковий ефект від зменшення організаційних втрат урожаю становить 31500 грн. З урахуванням додаткових витрат на пальне чистий річний економічний ефект дорівнює 76928 грн.

Вартість впровадження модернізації прийнята на рівні 65000 грн. Розрахований термін окупності становить 0,84 року, що свідчить про високу економічну ефективність запропонованого технічного рішення. Модернізація не потребує зміни загальної конструкції причепа-бункера накопичувача та може бути реалізована в умовах сільськогосподарського підприємства або ремонтної майстерні.

Таким чином, удосконалення вивантажувального шнека ПБН-16 є економічно доцільним, оскільки дозволяє скоротити тривалість перевантаження зерна, зменшити простої техніки, підвищити продуктивність збирально-транспортної ланки та забезпечити швидку окупність капіталовкладень. Отримані результати підтверджують практичну доцільність впровадження запропонованої модернізації під час збирання ріпаку озимого.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті аналізу технології вирощування ріпаку озимого встановлено, що культура характеризується потенційною врожайністю 4,0–6,0 т/га, вмістом олії в насінні 40–50 % та рентабельністю виробництва 30–70 %. Для умов проєкту прийнято врожайність 3,5 т/га при площі збирання 100 га, що забезпечує валовий збір урожаю 350 т насіння ріпаку.

Розроблено операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого на площі 100 га. Визначено склад збирально-транспортної ланки, до якої входять зернозбиральний комбайн, причіп-бункер накопичувач ПБН-16 та автомобільний транспорт для перевезення зерна. Розрахунками встановлено потребу у виконанні 34 циклів перевантаження зерна протягом збирального періоду.

У результаті аналізу конструкції причепа-бункера накопичувача ПБН-16 встановлено, що основним резервом підвищення ефективності його роботи є збільшення продуктивності вивантажувального шнека. Для цього запропоновано модернізацію шляхом застосування прискорювальної геометрії витків зі змінним кроком.

Виконані інженерні розрахунки показали, що продуктивність серійного шнека становить 138,3 т/год, тоді як після модернізації вона збільшується до 177,3 т/год. Таким чином, приріст продуктивності складає 39,0 т/год або 28,1 %.

Встановлено, що час повного вивантаження бункера місткістю 16 т скорочується з 4,51 до 3,52 хв. Скорочення тривалості операції становить 0,99 хв або 21,9 %, що дозволяє зменшити простої комбайнів та транспортних засобів під час збирання врожаю.

У результаті перевірочних розрахунків підтверджено працездатність модернізованого шнека та відповідність його основних елементів вимогам міцності й надійності. Запропонована конструкція не потребує суттєвих змін

базової машини та може бути впроваджена в умовах сільськогосподарського підприємства.

Розроблені заходи з охорони праці дозволяють забезпечити безпечне виконання збирально-транспортних робіт, знизити ризик травматизму під час експлуатації комбайнів, причепів-бункерів накопичувачів та транспортних засобів, а також покращити умови праці механізаторів.

Економічними розрахунками підтверджено доцільність модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16. Збільшення продуктивності перевантаження зерна на 28,1 % та скорочення часу вивантаження на 21,9 % забезпечують підвищення ефективності використання збирально-транспортної ланки та покращення техніко-економічних показників вирощування ріпаку озимого.

Поставлена в дипломному проєкті мета досягнута. Запропонована модернізація вивантажувального шнека ПБН-16 дозволяє підвищити продуктивність збирально-транспортної ланки, скоротити непродуктивні простої техніки та підвищити ефективність збирання ріпаку озимого.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балабаш, В. С., & Вожегова, Р. А. (2024). Використання біопрепаратів за вирощування ріпаку озимого. Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України, 26.
2. Василенко, О. С., & Войналович, О. В. (2022). Оцінення професійних ризиків на механізованих роботах у сільському господарстві. Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 88.
3. Васильковська, К., & Дворніченко, Р. (2023). Вдосконалення технології вирощування ріпаку озимого в умовах Степу України. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ, 281-282.
4. Вершков, О. О., Бондаренко, Л. Ю., Антонова, Г. В., & Тетервак, І. Р. (2022). Аналіз дослідної експлуатації програмного модулю розрахунку норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки.
5. Веселовська, Н. Р., Руткевич, В. С., & Шаргородський, С. А. (2023). Конструкція розрахунків і виробництво сільськогосподарських машин. Методичні вказівки для виконання практичних робіт та самостійної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «.
6. Винник, О. О. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В РОСЛИННИЦТВІ. ПОЛІСЬКІ НАУКОВІ ЧИТАННЯ-2025, 149.

7. Вівчар, М. (2023). Особливості вирощування ріпаку озимого фермерськими господарствами.
8. ВЛАЩУК, А., ДРОБІТ, О., ВАЛЕНТЮК, Н., & БАЛАБАШ, В. (2024). ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР, 14.
9. Галкін, Є. В. (2025). Сутність агроекологічного обґрунтування вирощування ріпаку озимого.
10. Гафурова, О. В., Новак, Т. С., & Міхневич, Л. В. (2026). Проблеми та перспективи правового регулювання безпечного поводження з засобами захисту рослин у сільському господарстві. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право, 2(93), 237-242.
11. Забарний, О. С., & Шкатула, Д. Ю. (2025). Вплив агротехнічних прийомів вирощування ріпаку озимого на густоту стояння рослин та урожайність. Аграрні інновації, (33), 115-120.
12. Кобець, А. С., Деркач, О. Д., & Макаренко, Д. О. (2025). Машиновикористання в рослинництві (енергетичний аналіз).
13. Курач, О. В., Першута, В. В., & Андрощук, О. О. (2024). Удосконалення елементів технології вирощування ріпаку озимого в умовах Західного Полісся. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН, (36), 105-116.
14. Мікуліна, М. О., Задорожний, Є., & Діченко, В. (2025, September). Система точного землеробства: від сенсорного моніторингу до оптимізації агротехнологій. In The 11 th International scientific and practical conference “Future of science: innovations and perspectives”(September 8-10, 2025) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2025. 152 p. (p. 53).
15. МІЩЕНКО, Ю., ДАВИДЕНКО, Г., ПОГОРІЛИЙ, Є., ГОМЕНКО, Д., БАРИЛО, О., & КЛІМАШЕВСЬКИЙ, В. (2024). ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБІТКІВ ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО. СТАН І

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР, 126.

16. Пугач, А. М., Кобець, О. М., & Лепеть, Є. І. (2025). Система «Машина-Поле».

17. Сендецький, В. М., Мельничук, Т. В., & Сендецький, І. В. (2023). Продуктивність ріпаку озимого за удосконалення технології вирощування в умовах Лісостепу Західного. Таврійський науковий вісник, 131, 188-195.

18. Сок, С. В. (2023). Екологічні аспекти розвитку біологічної системи землеробства в умовах глобальних змін клімату. Bulletin National University of Water and Environmental Engineering, 1(101), 193-205.

19. Смірнова, І. В., & Галабан, В. М. (2024). Перспективи вирощування ріпаку озимого в Україні.

20. Смірнова, І. В., Галабан, В. М., & Смірнов, А. С. АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО ДО ПОСУШЛИВИХ УМОВ ПІВДНЯ УКРАЇНИ. МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ, 34.

21. Спірін, А. В., Цуркан, О. В., & Борисюк, Д. В. (2022). Ергономічні аспекти охорони праці в сільському господарстві. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2022.№ 1 (116). С. 41-50.

22. Стеценко, А. Р., Орихівська, О. М., & Кононенко, Н. О. (2026). Сучасний стан та потенціал розвитку органічного сектору України в умовах глобальних викликів. Агроекологічний журнал, (1), 22-32.

23. Трус, О. М. ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ У ГАЛУЗІ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ. In Towards a Holistic Understanding: Interdisciplinary Approaches to Tackle Global Challenges and Promotion of Innovative Solutions: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Internet Conference, March 11-12, 2026. FOP Marenichenko VV, Dnipro, Ukraine, 151 p. (p. 136).

ДОДАТКИ

Додаток А – Графічний матеріал

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Проект використання техніки при вирощуванні ріпаку озимого з удосконаленням роботи збирально-транспортної ланки

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-4-23 за

спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Федорченко О.Ю.

Керівники: к.т.н., доцент Деркач Олексій Дмитрович

асистент Вітер Віталій Андрійович

Огляд мети роботи

Метою даної роботи є дослідження та обґрунтування шляхів підвищення ефективності вирощування ріпаку озимого шляхом удосконалення роботи збирально-транспортної ланки та модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16.

У процесі виконання роботи передбачено аналіз сучасних технологій вирощування та збирання ріпаку озимого, дослідження особливостей функціонування збирально-транспортної ланки, вивчення конструктивних особливостей причепів-бункерів накопичувачів, розробку операційно-технологічної карти збирання культури та модернізацію вивантажувального шнека ПБН-16 шляхом застосування прискорювальної геометрії витків.

Основна увага зосереджена на підвищенні продуктивності перевантаження зернової маси, скороченні часу вивантаження бункера, зменшенні простоїв комбайнів і транспортних засобів, покращенні організації збирального процесу та підвищенні ефективності використання машинно-тракторних агрегатів під час збирання врожаю ріпаку озимого.

Результати дослідження спрямовані на оцінку технічної та економічної доцільності впровадження модернізованого вивантажувального шнека ПБН-16 у виробничих умовах аграрних підприємств з метою підвищення продуктивності збирально-транспортної ланки та зниження експлуатаційних витрат під час збирання ріпаку озимого.

Аналіз технологій вирощування ріпаку озимого



Рис. 1.1 – Посіви ріпаку озимого у фазі цвітіння

Таблиця 1.3 – Основні показники господарської цінності ріпаку озимого

Показник	Значення
Вміст олії в насінні, %	40–50
Вміст білка в шроті, %	32–38
Потенційна врожайність, т/га	4,0–6,0
Тривалість вегетаційного періоду, діб	290–320
Маса 1000 насінин, г	4–7
Глибина проникнення кореневої системи, м	1,5–2,5
Рентабельність виробництва, %	30–70

Таблиця 1.1 – Основні агробіологічні характеристики ріпаку озимого

Показник	Значення
Тривалість вегетації, діб	290–320
Глибина проникнення коренів, м	1,5–2,5
Оптимальний рН ґрунту	6,0–7,2
Вміст олії в насінні, %	40–50
Маса 1000 насінин, г	4–7
Морозостійкість без снігу, °С	до -18
Морозостійкість під снігом, °С	до -25
Потенційна врожайність, т/га	4,0–6,0

Таблиця 1.2 – Основні технологічні операції при вирощуванні ріпаку озимого

Технологічна операція	Строк виконання	Основна мета
Лущення стерні	Після збирання попередника	Знищення падалиці та бур'янів
Основний обробіток ґрунту	Липень–серпень	Накопичення вологи та підготовка ґрунту
Внесення добрив	Перед сівбою	Забезпечення рослин елементами живлення
Сівба	Серпень	Формування оптимальної густоти посівів
Захист від бур'янів	Осінь, весна	Зменшення конкуренції за ресурси
Підживлення посівів	Весна	Стимулювання росту та розвитку
Захист від шкідників і хвороб	Протягом вегетації	Збереження врожаю
Збирання врожаю	Липень	Отримання насіння з мінімальними втратами
Транспортування врожаю	Під час збирання	Доставка насіння до місця зберігання

Розробка технології збирання ріпаку



Рис. 2.1 – Причіп-бункер накопичувач ПБН-16



Рис. 2.2 – зернозбиральний комбайн John Deere S770 під час збирання ріпаку озимого

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика причепа-бункера накопичувача ПБН-16

Показник	Значення
Місткість бункера, м ³	16
Вантажопідйомність, т	до 12
Ширина захвату приймання зерна	відповідно до ширини бункера
Тип вивантажувального органу	шнековий
Час повного вивантаження, хв	2–4
Робоча швидкість, км/год	до 15
Транспортна швидкість, км/год	до 30

Таблиця 2.2 - Загальні параметри умов роботи

Показник	Значення
Культура	Ріпак озимий
Спосіб збирання	пряме комбайнування
Площа поля	100 га
Урожайність	3,5 т/га
Валовий збір	350 т
Довжина гону	1200 м
Тип ґрунту	чорнозем середньосуглинковий
Середній ухил місцевості	1,5 %
Комбайн	John Deere S770
Робоча ширина жатки	9,1 м
Робоча швидкість комбайна	6 км/год
Причіп-бункер накопичувач	ПБН-16
Транспортний засіб	автомобільний зерновоз вантажопідйомністю 24 т

Операційно технологічна карта прямого посіву жита

Таблиця 2.3 - Загальні параметри умов роботи

Показник	Значення
Культура	Ріпак озимий
Спосіб збирання	пряме комбайнування
Площа поля	100 га
Урожайність	3,5 т/га
Валовий збір	350 т
Довжина гону	1200 м
Тип ґрунту	чорнозем середньосуглинковий
Середній ухил місцевості	1,5 %
Комбайн	John Deere S770
Робоча ширина жатки	9,1 м
Робоча швидкість комбайна	6 км/год
Причіп-бункер накопичувач	ПБН-16
Транспортний засіб	автомобільний зерновоз вантажопідйомністю 24 т

Умови роботи

- Ріпак озимий
- Площа поля 100 га
- Урожайність 3,5 т/га
- Валовий збір 350 т
- Довжина гону 1200 м
- Комбайн John Deere S770
- ПБН-16

Таблиця 2.4 - Агротехнічні вимоги до збирання ріпаку озимого

Показник	Допустиме або рекомендоване значення
Вологість насіння під час збирання	10-12 %
Спосіб збирання	пряме комбайнування
Наявність ріпакового столу	обов'язкова
Втрати насіння за комбайном	не більше 2 %
Дроблення насіння	не більше 1 %
Засміченість зернової маси	не більше 3 %
Робоча швидкість комбайна	5-7 км/год
Простої комбайна під час вивантаження	мінімальні, за рахунок використання ПБН-16

Агротехнічні вимоги

- Вологість 10–12 %
- Втрати не більше 2 %
- Дроблення не більше 1 %
- Засміченість не більше 3 %
- Швидкість 5–7 км/год
- Ріпаковий стіл обов'язковий

Склад агрегату

- John Deere S770
- John Deere 6195M
- ПБН-16
- Зерновоз 24 т
- 3 працівники

Таблиця 2.5 - Склад та основні параметри збирально-транспортної ланки

Елемент ланки	Марка	Основний параметр
Зернозбиральний комбайн	John Deere S770	ширина жатки 9,1 м
Трактор	John Deere 6195M	потужність 195 к.с.
Причіп-бункер накопичувач	ПБН-16	місткість бункера 16 м³
Автомобільний зерновоз	самоскидний зерновоз	вантажопідйомність 24 т
Кількість працівників	-	3 особи

Результати розрахунків

- Тяговий опір — 21,04 кН
- Необхідна потужність — 82,5 кВт (112 к.с.)
- Продуктивність комбайна — 4,22 га/год
- Змінна продуктивність — 29,55 га/зм
- Тривалість робіт — 23,69 год
- Кількість циклів ПБН-16 — 34
- Кількість рейсів зерновоза — 15
- Загальна витрата пального — 2035 л

Удосконалення причепа бункера-накопичувача ПБН-16

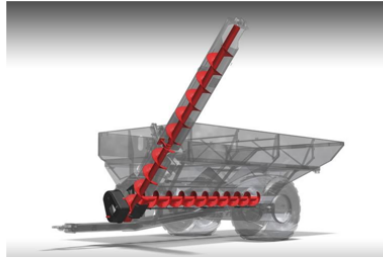


Рис. 3.1 – Стандартний вивантажувальний шнек причепа-бункера накопичувача

Таблиця 3.2 - Порівняння продуктивності серійного та модернізованого шнека

Показник	Серійний шнек	Модернізований шнек
Крок витка, м	0,32	0,32-0,45
Середній розрахунковий крок, м	0,320	0.383
Коефіцієнт заповнення	0,35	0,36
Об'ємна продуктивність, м³/год	212.8	272.7
Масова продуктивність, т/год	138.3	177.3
Приріст продуктивності, %	-	28.1

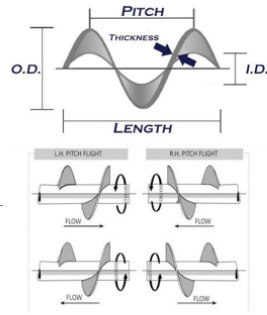


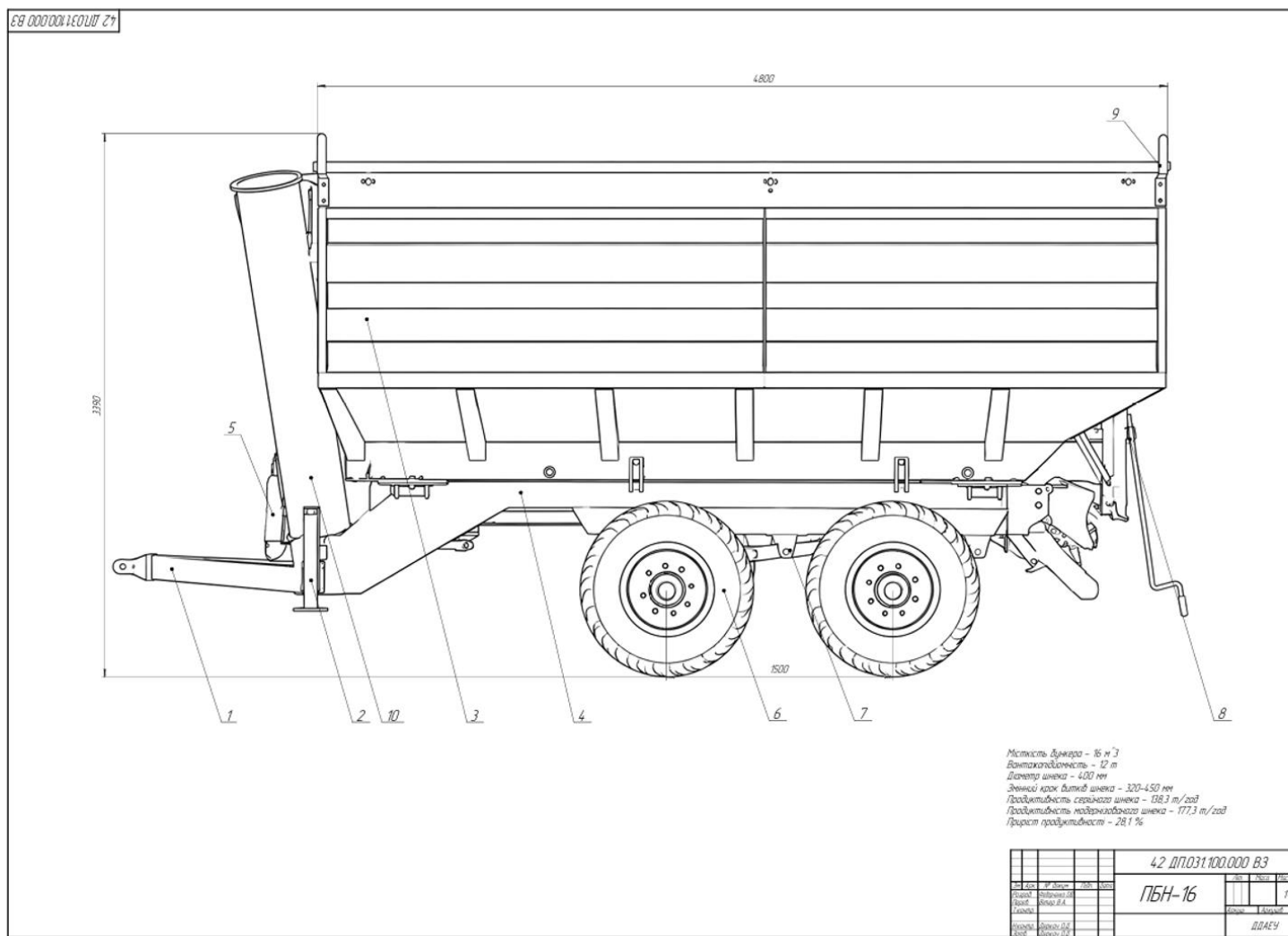
Рис. 3.2 – Візуальна демонстрація змінних параметрів при проектуванні

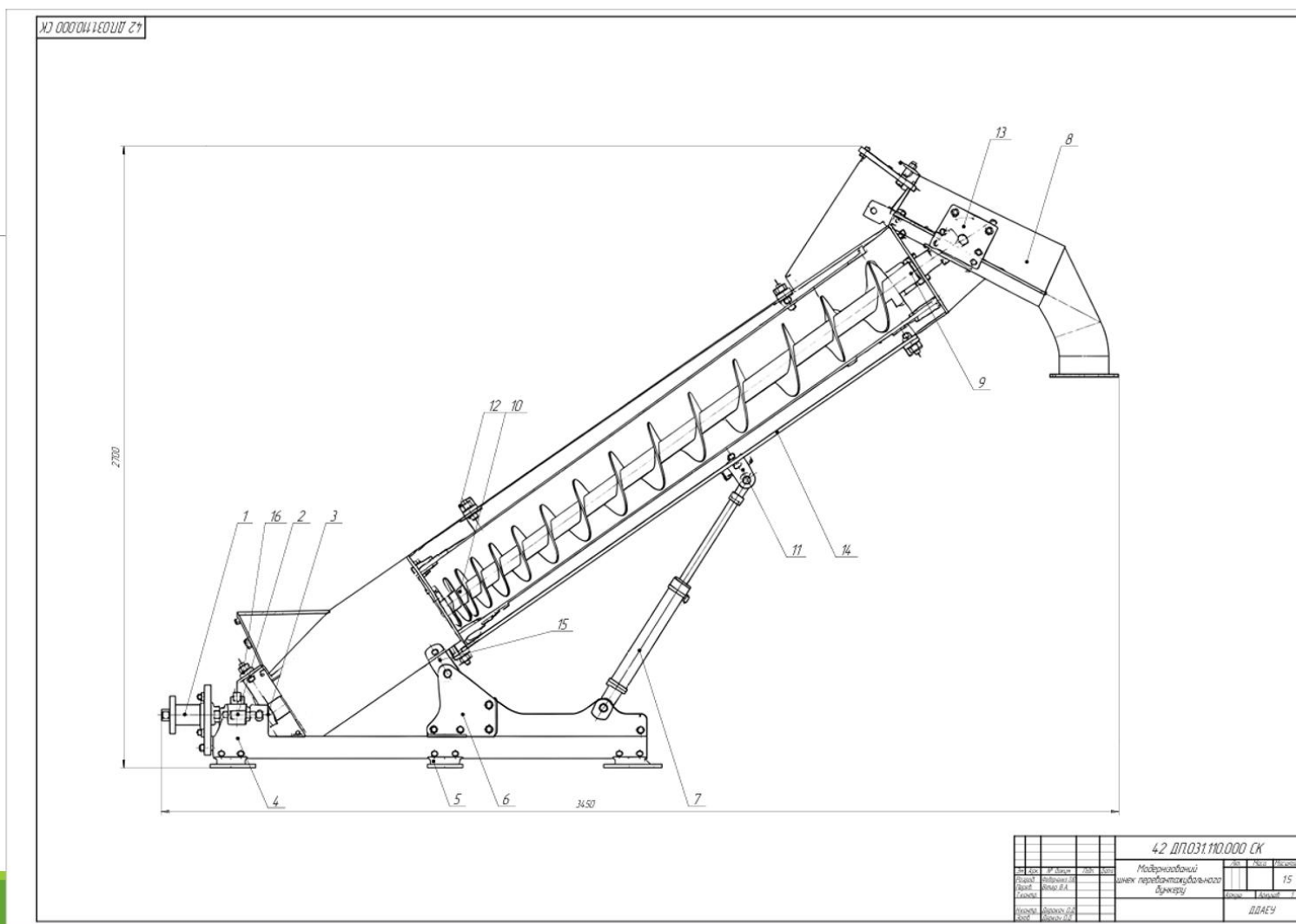
Таблиця 3.1 – Технічна характеристика ПБН-16

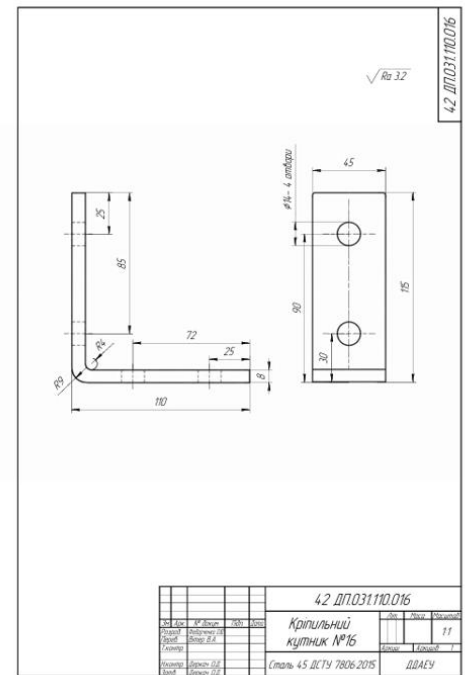
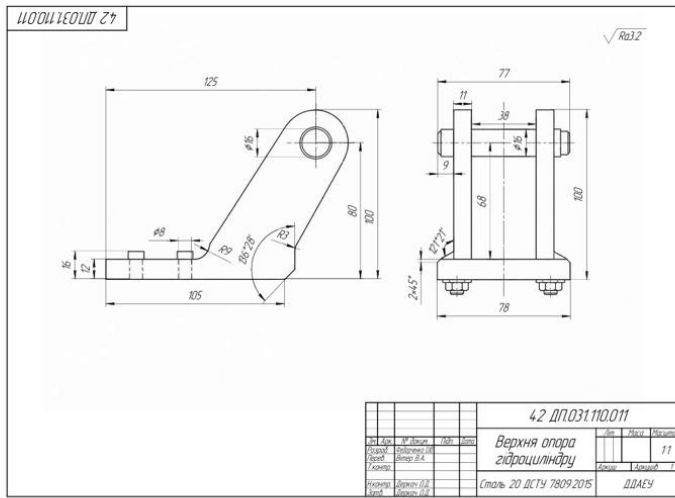
Параметр	Позначення	Значення
Діаметр шнека	D	400 мм
Частота обертання	n	350 об/хв
Довжина шнека	L	4,5 м
Початковий крок витка	S	320 мм
Насипна густина ріпаку	γ	650 кг/м³
Коефіцієнт заповнення	ϕ	0,35

Таблиця 3.3 - Підсумкові результати інженерного розрахунку

Показник	Значення
Продуктивність серійного шнека, т/год	138.3
Продуктивність модернізованого шнека, т/год	177.3
Приріст продуктивності, %	28.1
Час вивантаження серійного шнека, хв	4.51
Час вивантаження модернізованого шнека, хв	3.52
Скорочення часу одного циклу, хв	0.99
Сумарне скорочення часу за 34 цикли, год	0.56
Розрахункова потужність приводу, кВт	15.10
Крутний момент на валу, Н*м	411.9
Напруження від кручення, МПа	9.71
Еквівалентні напруження, МПа	110.58
Коефіцієнт запасу міцності валу	1.45







Економічна доцільність модернізації

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічного аналізу

Показник	Позначення	Значення
Площа збирання ріпаку за ОТК, га	F	100
Урожайність ріпаку, т/га	Y	3,5
Валовий збір з площі 100 га, т	Q	350
Кількість циклів ПБН-16 на 100 га	n _ц	34
Продуктивність серійного шнека, т/год	Q ₁	138,3
Продуктивність модернізованого шнека, т/год	Q ₂	177,3
Час вивантаження серійного шнека, хв	t ₁	4,51
Час вивантаження модернізованого шнека, хв	t ₂	3,52
Скорочення часу на один цикл, хв	Δt	0,99
Розрахункова потужність приводу, кВт	N	15,10
Вартість модернізації, грн	K _м	65000

Таблиця 5.2 – Аналіз техніко економічних показників

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Продуктивність шнека, т/год	138,3	177,3
Приріст продуктивності, %	-	28,1
Час вивантаження одного бункера, хв	4,51	3,52
Скорочення часу на один цикл, хв	-	0,99
Скорочення часу на 100 га, год	-	0,56
Сезонне скорочення часу, год	-	5,61
Економія від скорочення простоїв, грн	-	47124
Ефект від зменшення організаційних витрат, грн	-	31500
Додаткові витрати на пальне, грн	-	1694
Річний економічний ефект, грн	-	76930
Вартість модернізації, грн	-	65000
Термін окупності, року	-	0,84

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті аналізу технології вирощування ріпаку озимого встановлено, що культура характеризується потенційною врожайністю 4,0–6,0 т/га, вмістом олії в насінні 40–50 % та рентабельністю виробництва 30–70 %. Для умов проєкту прийнято врожайність 3,5 т/га при площі збирання 100 га, що забезпечує валовий збір урожаю 350 т насіння ріпаку.

Розроблено операційно-технологічну карту збирання ріпаку озимого на площі 100 га. Визначено склад збирально-транспортної ланки, до якої входять зернозбиральний комбайн, причіп-бункер накопичувач ПБН-16 та автомобільний транспорт для перевезення зерна. Розрахунками встановлено потребу у виконанні 34 циклів перевантаження зерна протягом збирального періоду.

У результаті аналізу конструкції причепа-бункера накопичувача ПБН-16 встановлено, що основним резервом підвищення ефективності його роботи є збільшення продуктивності вивантажувального шнека. Для цього запропоновано модернізацію шляхом застосування прискорювальної геометрії витків зі змінним кроком.

Виконані інженерні розрахунки показали, що продуктивність серійного шнека становить 138,3 т/год, тоді як після модернізації вона збільшується до 177,3 т/год. Таким чином, приріст продуктивності складає 39,0 т/год або 28,1 %.

Встановлено, що час повного вивантаження бункера місткістю 16 т скорочується з 4,51 до 3,52 хв. Скорочення тривалості операції становить 0,99 хв або 21,9 %, що дозволяє зменшити простої комбайнів та транспортних засобів під час збирання врожаю.

У результаті перевірочних розрахунків підтверджено працездатність модернізованого шнека та відповідність його основних елементів вимогам міцності й надійності. Запропонована конструкція не потребує суттєвих змін базової машини та може бути впроваджена в умовах сільськогосподарського підприємства.

Розроблені заходи з охорони праці дозволяють забезпечити безпечне виконання збирально-транспортних робіт, знизити ризик травматизму під час експлуатації комбайнів, причепів-бункерів накопичувачів та транспортних засобів, а також покращити умови праці механізаторів.

Економічними розрахунками підтверджено доцільність модернізації причепа-бункера накопичувача ПБН-16. Збільшення продуктивності перевантаження зерна на 28,1 % та скорочення часу вивантаження на 21,9 % забезпечують підвищення ефективності використання збирально-транспортної ланки та покращення техніко-економічних показників вирощування ріпаку озимого.

Поставлена в дипломному проєкті мета досягнута. Запропонована модернізація вивантажувального шнека ПБН-16 дозволяє підвищити продуктивність збирально-транспортної ланки, скоротити непродуктивні простої техніки та підвищити ефективність збирання ріпаку озимого.

Дякую за увагу!

