

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Пояснювальна записка

*до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти  
бакалавр*

на тему: «Удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника  
рулонів сіна»

КРБ.133ГМбд\_32[2].08.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти  
за освітньо-професійною програмою  
*«Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»*  
спеціальності 133 *«Галузеве  
машинобудування»*  
ступеня вищої освіти *бакалавр*  
групи 133ГМбд\_32[2]  
ПАФИК Ігор

Керівник: ТАРАСЕНКО Дмитро

**Полтава – 2026 року**

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*  
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**механічної та електричної**  
**інженерії,**  
канд. техн. наук, доцент,  
\_\_\_\_\_ Станіслав ПОПОВ  
03 грудня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

***Ігор ПАФІК***

1 Тема роботи: *«Удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна»*

керівник роботи ***старший викладач ТАРАСЕНКО Дмитро,***  
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *кресленик загального виду пристрою; складальний кресленик вузла навантажувача, що виноситься на розгляд; робочі кресленики деталей навантажувача.*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	До 31.05.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	3 01.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ігор ПАФІК

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Дмитро ТАРАСЕНКО  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 4 розділи, 10 рисунків, 15 таблиць, 28 використаних джерел, 44 сторінки.

**Об'єкт розробки** – процес механізованого навантаження, транспортування та складування рулонів сіна.

**Предмет розробки** – конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, його навантажувальний механізм та несуча система.

**Постановка актуальної технічної задачі** – дослідити існуючі конструкції навантажувачів-транспортувальників рулонів сіна, визначити їх основні недоліки та розробити удосконалену конструкцію, яка забезпечить підвищення продуктивності, надійності роботи та зниження експлуатаційних витрат.

**Мета кваліфікаційної роботи бакалавра** – удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна та виконання необхідних конструктивних і техніко-економічних розрахунків.

**Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра** – підвищення ефективності виконання навантажувально-транспортних робіт під час заготівлі грубих кормів за рахунок удосконалення конструкції машини та покращення її техніко-експлуатаційних показників.

У **загальному розділі** наведено аналіз сучасного стану механізації заготівлі грубих кормів, розглянуто технологію заготівлі та транспортування рулонів сіна, виконано аналіз існуючих технічних засобів для навантаження і транспортування рулонів, досліджено конструктивні особливості сучасних навантажувачів-транспортувальників та обґрунтовано напрямки удосконалення конструкції.

У **технологічному розділі** розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Палець», виконано аналіз технологічності конструкції, визначено матеріал, режими різання, припуски на механічну обробку, схеми базування та маршрут виготовлення деталі.

У **конструкторському розділі** запропоновано удосконалену конструкцію навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, наведено опис будови та принципу роботи машини, виконано конструктивні розрахунки основних вузлів і елементів конструкції.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У розділі економіки, охорони праці та навколишнього середовища визначено економічну ефективність впровадження розробки, розроблено заходи з підвищення безпеки праці під час експлуатації машини та запропоновано рішення щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

**Практичні результати роботи** – розроблено комплект конструкторської документації на удосконалений навантажувач-транспортувальник рулонів сіна. Запропонована конструкція забезпечує підвищення продуктивності навантажувально-транспортних робіт та покращення умов експлуатації машини.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи** – результати можуть бути використані при модернізації існуючих навантажувачів-транспортувальників рулонів сіна та під час проектування нових машин для кормовиробництва.

**Сфера застосування результатів роботи** – сільськогосподарські підприємства, фермерські господарства, машинно-технологічні станції та підприємства сільськогосподарського машинобудування.

Графічна частина роботи становить 3 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 81,26%.

#### АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена удосконаленню конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, яка забезпечує підвищення продуктивності роботи, покращення умов захоплення та переміщення рулонів, зменшення втрат кормів і скорочення витрат часу на виконання технологічних операцій

**НАВАНТАЖУВАЧ-ТРАНСПОРТУВАЛЬНИК, РУЛОНИ СІНА, ЗАХОПЛЮВАЧ, ГІДРОПРИВІД, ПЛАТФОРМА, КОРМОВИРОБНИЦТВО.**

#### ANNOTATION

The bachelor's qualification work is devoted to improving the design of a hay bale loader-transporter, which ensures increased operational productivity, improved bale gripping and handling conditions, reduced forage losses and decreased time required for technological operations.

**LOADER-TRANSPORTER, HAY BALES, GRAB MECHANISM, HYDRAULIC DRIVE, PLATFORM, FORAGE PRODUCTION.**

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Стан та перспективи розвитку механізації заготівлі грубих кормів	9
1.2 Технологія заготівлі та транспортування рулонованого сіна	9
1.3 Аналіз існуючих технічних засобів для навантаження та транспортування рулонів	10
1.4 Конструктивні особливості сучасних навантажувачів-транспортувальників рулонів	11
1.5 Аналіз недоліків існуючих конструкцій та обґрунтування напрямку удосконалення	12
1.5 Обґрунтування напрямку розробки	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Аналіз технологічності деталі	15
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі	17
2.3 Обробка поверхонь	19
2.4 Розробка схем базування деталі	20
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	22
2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	25
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	27
3.1 Особливості конструкції запропонованого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна	27
3.2 Конструктивні розрахунки навантажувача-транспортувальника рулонів сіна	36
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	42
4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки	42
4.2 Охорона праці	45
4.3 Охорона навколишнього середовища	47
ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	50

КРБ.133ЕМбд_32[2].08.00.00.000 ПЗ				
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Пафик І.М.		
Перевінив		Тарасенко Д.С.		
Н. Коитр.		Тарасенко Д.С.		
Керівник		Тарасенко Д.С.		
Зав.кафедр		Попов С.В.		
Удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна				
		Лім.	Арк.	Аркушів
		6	4	44
ПДАУ, каф. МЕІ				

## ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується високим рівнем механізації технологічних процесів заготівлі кормів. Однією з важливих операцій у кормовиробництві є збирання, навантаження, транспортування та складування рулонів сіна. Від ефективності виконання цих робіт значною мірою залежать витрати праці, продуктивність технічних засобів, якість збереження кормів та економічні показники господарства. [4; 7]

У сучасних умовах більшість господарств використовує рулонну технологію заготівлі сіна, яка забезпечує зручність транспортування та зберігання кормової маси. Разом з тим навантаження та переміщення рулонів потребують застосування спеціалізованих машин і пристроїв. Існуючі навантажувачі-транспортувальники не завжди повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо продуктивності, енергоефективності, маневреності та надійності роботи. Крім того, під час експлуатації часто виникають пошкодження рулонів, збільшуються витрати палива та часу на виконання транспортно-складських операцій. [9; 16; 25]

Удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності механізованих процесів у кормовиробництві. Впровадження конструктивних рішень, що забезпечують покращення захислення, утримання та транспортування рулонів, дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність праці та покращити умови роботи обслуговуючого персоналу.

**Метою кваліфікаційної роботи** удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна та виконання необхідних конструктивних і техніко-економічних розрахунків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:  
провести аналіз існуючих конструкцій машин для навантаження і транспортування рулонів сіна;

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначити основні недоліки та напрямки їх удосконалення;  
розробити модернізовану конструкцію навантажувача-  
транспортувальника,  
виконати необхідні конструктивні та міцнісні розрахунки;  
оцінити економічну доцільність впровадження розробки;  
розробити заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища  
під час експлуатації машини.

**Об'єктом дослідження** є процес механізованого навантаження та транспортування рулонів сіна.

**Предметом дослідження** конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, його навантажувальний механізм та несуча система.

**Практичне значення роботи** полягає у розробці конструктивних рішень, спрямованих на підвищення продуктивності машини, зниження енерговитрат і покращення якості виконання технологічного процесу навантаження та транспортування рулонів сіна. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих машин та створенні нових зразків техніки для кормовиробництва.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Стан та перспективи розвитку механізації заготівлі грубих кормів

Одним із важливих напрямів розвитку сучасного сільського господарства є підвищення ефективності кормовиробництва. Забезпечення тваринництва якісними кормами є необхідною умовою отримання високої продуктивності сільськогосподарських тварин та підвищення економічної ефективності виробництва продукції. Особливе місце серед грубих кормів займає сіно, яке є важливим джерелом поживних речовин у зимовий період. Від якості його заготівлі значною мірою залежить поживна цінність корму та показники продуктивності тварин. [4; 9]

У сучасних господарствах переважно застосовується рулонна технологія заготівлі сіна, яка забезпечує високий рівень механізації виробничих процесів. Формування сіна в рулони дозволяє скоротити втрати кормової маси, підвищити продуктивність праці та спростити транспортування і зберігання кормів. Разом з тим ефективність використання рулонної технології значною мірою залежить від рівня механізації навантажувально-транспортних робіт, які залишаються одними з найбільш трудомістких операцій у технологічному процесі заготівлі кормів. [7]

Постійне зростання площ кормових угідь та обсягів заготівлі сіна обумовлює необхідність застосування більш продуктивних технічних засобів для навантаження та транспортування рулонів. Саме тому розробка та удосконалення навантажувачів-транспортувальників рулонів є важливим завданням сучасного сільськогосподарського машинобудування.

### 1.2 Технологія заготівлі та транспортування рулонованого сіна

Технологічний процес заготівлі сіна складається з комплексу взаємопов'язаних операцій, до яких належать скошування трави, воршіння, згрібання у валки, підбирання та пресування кормової маси, транспортування і

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складування готової продукції. Впровадження рулонної технології дозволило значно скоротити затрати праці та підвищити якість кормів. [4; 9; 16]

Після завершення процесу пресування рулони залишаються на поверхні поля і потребують подальшого транспортування до місць зберігання. Саме на цьому етапі виникає необхідність застосування спеціалізованих машин. Від швидкості та ефективності виконання навантажувально-транспортних операцій залежить загальна продуктивність кормозаготівельного комплексу.

Маса рулонів залежно від виду корму, вологості та конструкції прес-підбирача може досягати 600–800 кг. Тому виконання навантажувальних робіт без використання спеціальної техніки практично неможливе. Крім того, багаторазове переміщення рулонів призводить до додаткових витрат палива та збільшення тривалості виробничого циклу. У зв'язку з цим важливого значення набуває використання навантажувачів-транспортувальників, які дозволяють поєднати процеси навантаження та перевезення кормів. [22; 27]

### **1.3 Аналіз існуючих технічних засобів для навантаження та транспортування рулонів**

Для виконання навантажувально-транспортних робіт у господарствах застосовують різні типи машин. Найбільш поширеними є фронтальні навантажувачі, причіпні транспортувальники рулонів та самозавантажувальні навантажувачі-транспортувальники.

Фронтальні навантажувачі (рис.1.14) характеризуються універсальністю та можливістю використання для виконання широкого спектра робіт. За допомогою змінних робочих органів вони можуть застосовуватися як для навантаження рулонів, так і для роботи з сипкими матеріалами. Проте під час заготівлі сіна такі машини потребують додаткових транспортних засобів, що призводить до збільшення витрат часу та палива. [7; 16]

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
							10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Причіпні транспортувальники рулоні (рис.1.1) забезпечують перевезення значної кількості кормів за один рейс. Їх використання дозволяє підвищити продуктивність транспортних робіт, однак вони не виконують функцій навантаження і потребують застосування окремих навантажувальних механізмів. [24; 25]

Найбільш ефективними є самозавантажувальні навантажувачі-транспортувальники рулонів (рис.1.1в). Такі машини оснащуються спеціальними механізмами захоплення та завантаження рулонів, що дозволяє виконувати повний цикл робіт одним агрегатом. Це сприяє скороченню тривалості технологічних операцій та підвищенню продуктивності праці. [3; 27; 28]

Рисунок 1.1 – Технічні засоби для навантаження та транспортування рулонів: а – фронтальні; б – причіпні; в – самозавантажувальні навантажувачі-транспортувальники рулонів

#### **1.4 Конструктивні особливості сучасних навантажувачів-транспортувальників рулонів**

Конструкція сучасного навантажувача-транспортувальника включає несучу раму, ходову систему, платформу для розміщення рулонів, навантажувальний механізм та гідравлічний привід. Від конструктивного виконання цих елементів залежать експлуатаційні характеристики машини, її продуктивність та надійність. [1; 8]

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.2 – Схема навантаження транспортувальника рулонов сіна

Несуча рама є основним силовим елементом конструкції та сприймає навантаження від маси рулонів під час транспортування. Навантажувальний механізм забезпечує піднімання рулонів із поверхні поля та їх переміщення на платформу. Для приводу робочих органів зазвичай використовується гідравлічна система, яка забезпечує плавність роботи та високу продуктивність технологічного процесу. [2, 19]

Постійне збільшення маси рулонів та продуктивності машин висуває підвищені вимоги до міцності та надійності конструкції. Тому сучасні виробники приділяють значну увагу удосконаленню несучих елементів, зниженню металоємності та підвищенню довговічності машин.

### **1.3 Аналіз недоліків існуючих конструкцій та обґрунтування напрямку удосконалення**

Проведений аналіз показує, що існуючі навантажувачі-транспортувальники рулонів мають ряд недоліків, які негативно впливають на їх ефективність. Найбільш поширеними проблемами є недостатня жорсткість рами, значні динамічні навантаження під час руху по нерівностях поля, підвищене навантаження на захватний механізм та значна маса конструкції. [5; 10; 18]

У процесі експлуатації це призводить до прискореного зношування вузлів, збільшення витрат на технічне обслуговування та ремонт, а також зниження продуктивності роботи агрегату. Крім того, недостатня місткість платформи

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
							12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

змушує виконувати більшу кількість транспортних рейсів, що супроводжується недоцільними витратами палива та робочого часу.

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна. Основним напрямком модернізації є підвищення надійності та продуктивності машини шляхом удосконалення несучої конструкції та навантажувального механізму. Реалізація зазначених технічних рішень дозволить підвищити ефективність виконання навантажувально-транспортних робіт і забезпечити зниження експлуатаційних витрат.

Отже, встановлено, що наявні технічні засоби мають ряд конструктивних недоліків, які обмежують їх продуктивність та надійність. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, що є основою для подальшої розробки конструктивних рішень у кваліфікаційній роботі.

### **1.6 Обґрунтування напрямку розробки**

Проведений аналіз технології заготівлі та транспортування рулонованого сіна, а також існуючих конструкцій навантажувачів-транспортувальників показав, що незважаючи на достатньо високий рівень механізації даних процесів, наявні технічні засоби не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо продуктивності, надійності та економічності. У процесі експлуатації таких машин часто виникають проблеми, пов'язані зі значними динамічними навантаженнями на несучі елементи конструкції, недостатньою місткістю платформи для розміщення рулонів, підвищеним навантаженням на захватні механізми та збільшенням витрат палива через необхідність виконання великої кількості транспортних рейсів.

Особливо гостро зазначені недоліки проявляються у великих господарствах, де щорічно заготовляються значні обсяги грубих кормів. За таких умов навіть незначне підвищення продуктивності навантажувача-

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортувальника забезпечує відчутний економічний ефект за рахунок скорочення тривалості робіт, зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів та підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку.

Аналіз конструктивних схем існуючих машин показав, що найбільш перспективним напрямком удосконалення є модернізація несучої конструкції та навантажувального механізму навантажувача-транспортувальника.

Удосконалення рами дозволяє підвищити її жорсткість та довговічність, зменшити вплив динамічних навантажень під час руху по нерівній поверхні поля та забезпечити більш рівномірний розподіл навантаження від транспортованих рулонів. Одночасно вдосконалення навантажувального механізму сприятиме скороченню часу завантаження рулонів, підвищенню надійності роботи захватного пристрою та покращенню умов експлуатації машини. [5; 18]

Запропонований напрямок удосконалення дозволить збільшити продуктивність агрегату, підвищити його надійність та зменшити експлуатаційні витрати. Крім того, підвищення місткості та ефективності роботи навантажувача-транспортувальника забезпечить скорочення кількості рейсів під час перевезення рулонів сіна, що позитивно вплине на економічні показники господарства та сприятиме зменшенню витрат палива.

Таким чином, удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна є технічно доцільним та економічно обґрунтованим напрямком розробки, який дозволить підвищити ефективність виконання навантажувально-транспортних робіт під час заготівлі грубих кормів та забезпечити покращення техніко-експлуатаційних показників машини.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз технологічності деталі

Деталь «Палець» належить до класу деталей типу тіл обертання зі ступінчастим зовнішнім профілем. Виготовляється деталь зі Сталі 45 за ДСТУ 7809:2015, яка є середньовуглецевою конструкційною сталлю звичайної якості. Маса деталі становить 0,02 кг. Загальна довжина 65 мм, найбільший діаметр 30 мм, діаметр робочої частини 20 мм. Поперечний отвір діаметром 4 мм розташований на відстані 3,5 мм від торця робочої частини та слугує для встановлення шплінта при фіксації пальця у вузлі навантажувача. [11; 17]

Рисунок 2.1 – Кресленик деталі «Палець»

За технологічними ознаками деталь характеризується простою геометричною формою, симетричною відносно осі обертання. Конструкція передбачає вільний доступ ріжучого інструмента до всіх оброблюваних поверхонь, відсутні слухі важкодоступні поверхні. Базування заготовки на токарних операціях здійснюється у трикулачковому самоцентрівному патроні та центрах, що забезпечує суміщення конструкторських і технологічних баз. Конструкція деталі допускає застосування високопродуктивних методів обробки із використанням стандартного ріжучого інструмента.

Шорсткість більшості поверхонь  $Ra$  6,3 мкм, яку забезпечують чистовим точінням за один прохід. Циліндрична робоча поверхня діаметром 20 мм виконується із шорсткістю  $Ra$  3,2 мкм, що досягається тонким точінням або

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шліфуванням. Невказані граничні відхилення розмірів отворів відповідають якості Н14, валів h14, інших  $\pm IT14/2$ , що відповідає рівню точності серійного виробництва.

Кількісну оцінку технологічності виконують за коефіцієнтом використання матеріалу, який обчислюють за формулою:

$$K_{в.м} = \frac{m_d}{m_z} \quad (2.1)$$

де  $m_d$  – маса готової деталі, кг;  $m_z$  – маса заготовки, кг.

Для прийнятої заготовки з прокату діаметром 32 мм і довжиною 70 мм маса становить 0,044 кг. Тоді коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = \frac{0,02}{0,044} = 0,45 \quad (2.2)$$

Отримане значення є прийнятним для дрібносерійного виробництва. Зменшити витрати матеріалу можливо застосуванням поперечно-клинової прокатки або калібрування заготовки. У серійному виробництві доцільно перейти на штамповану заготовку, що підвищить коефіцієнт використання матеріалу до 0,75...0,85.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад Сталі 45 за ДСТУ 7809:2015, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,42– 0,50	0,17– 0,37	0,50– 0,80	до 0,25	до 0,25	до 0,25	до 0,04	до 0,035

Таблиця 2.2 – Механічні властивості Сталі 45 після нормалізації

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Границя міцності	$\sigma_B$	МПа	598
Границя текучості	$\sigma_T$	МПа	353
Відносне видовження	$\delta$	%	16
Відносне звуження	$\psi$	%	40
Твердість за Брінеллем	НВ	–	229
Ударна в'язкість	KCU	Дж/см <sup>2</sup>	59

## 2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Діючий технологічний процес виготовлення пальця належить до типу серійних маршрутних процесів. Заготовкою служить пруток гарячекатаної круглої сталі діаметром 32 мм за ДСТУ 4738:2007. Початковою заготівельною операцією є відрізання прутка на мірні заготовки довжиною 70 мм на круглопиляльному верстаті 8Г662. Точність розкрою забезпечує припуск 5 мм на чорнову обробку торця [13; 17]

Послідовність механічної обробки побудована за принципом концентрації операцій і застосуванням універсального токарно-гвинторізного обладнання. На першій токарній операції виконують підрізання торця, чорнове точіння зовнішнього циліндра та центрування. На другій токарній операції з установом «су центрах» проводять чистову обробку шийки діаметром 26 мм, формування переходу на діаметр 30 мм, точіння фасок  $2 \times 45^\circ$  і  $1 \times 45^\circ$ . Поперечний отвір діаметром 4 мм отримують свердлінням на вертикально-свердильному верстаті 2Н118 із використанням кондуктора.

Після механічної обробки деталь піддають об'ємному гартуванню з подальшим середнім відпуском за режимом, що забезпечує твердість HRC 35...40. Завершальною операцією виступає полірування шийки діаметром 20 мм на круглоциліфувальному верстаті 3У10А до досягнення шорсткості  $R_a 3,2$  мкм. Технічний контроль виконують суцільний на остаточних операціях із використанням мікрометра МК 25 та калібрів-скоб для перевірки діаметрів.

Аналіз діючого процесу виявив резерви підвищення продуктивності. Концентрація переходів на верстатах із числовим програмним керуванням скоротить машинний час обробки. Заміна свердильного кондуктора на верстат з ЧПК ліквідує допоміжний час на встановлення-знімання пристрою. Норма часу на одну деталь за діючим процесом становить 4,6 хв при коефіцієнті завантаження обладнання 0,72.

Витрату штучного часу визначають за формулою:

$$T_{шт} = t_o + t_d + t_{об} + t_p \quad (2.3)$$

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $t_o$  – основний (машинний) час, хв;  $t_d$  – допоміжний час, хв;  $t_{об}$  – час на обслуговування робочого місця, хв;  $t_{в}$  – час на відпочинок, хв.

Таблиця 2.3 – Перелік операцій діючої технологічного процесу

№ оп.	Найменування операції	Зміст переходів	Тшт, хв
005	Заготівельна	Відрізання прутка на мірні заготовки	0,42
010	Токарна чорнова	Підрізання торця, точіння Ø30, центрування	1,15
015	Токарна чистова	Точіння шийки Ø20, фаски 2×45°, 1×45°	1,38
020	Свердлильна	Свердління отвору Ø4 на глибину 3,5 мм	0,65
025	Термічна	Гартування, середній відпуск	–
030	Шліфувальна	Шліфування Ø20 до Ra 3,2 мкм	0,87
035	Контрольна	Контроль геометричних параметрів	0,33

Таблиця 2.4 – Обладнання, що застосовується у діючому процесі

№ оп.	Модель	Тип верстата	Потужність, кВт	Точність
005	8Г662	Круглошляльний	5,5	Н
010	16К20	Токарно-гвинторізний	10,0	Н
015	16К20	Токарно-гвинторізний	10,0	Н
020	2Н118	Вертикально-свердлильний	1,5	Н
025	ПАП-10	Піч камерна	10,0	–
030	ЗУ10А	Круглошліфувальний	4,0	В

### 2.3 Обробка поверхонь

Деталь «Палець» має шість основних поверхонь, які підлягають механічній обробці. Циліндрична поверхня діаметром 30 мм є опорною та обмежує осьове переміщення пальця у вузлі. Поверхня формується чорновим і чистовим точінням, остаточна шорсткість  $R_a$  6,3 мкм. Точність діаметра відповідає квалітету h14, що допускає відхилення мінус 0,52 мм від номінального розміру.

Циліндрична робоча поверхня діаметром 20 мм є основною спряженою поверхнею пальця. На ній виникають контактні напруження при роботі вузла, що визначає підвищені вимоги до шорсткості ( $R_a$  3,2 мкм). Послідовність обробки включає чорнове точіння, чистове точіння та шліфування після термообробки. Поперечний отвір діаметром 4 мм отримують спіральним свердлом за один прохід без розгортання, оскільки шорсткість  $R_a$  6,3 мкм забезпечується безпосередньо свердлінням.

Торцеві поверхні обробляють підрізанням прохідним різцем із кутом у плані  $95^\circ$ . Фаски  $2 \times 45^\circ$  і  $1 \times 45^\circ$  знімають фасочним або прохідним різцем за один прохід. Шорсткість торцевих поверхонь та фасок відповідає  $R_a$  6,3 мкм, що забезпечується чистовим точінням із подачею  $S = 0,15 \dots 0,20$  мм/об.

Основний час точіння визначають за формулою:

$$t_{\text{ос}} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \quad (2.4)$$

де  $L$  – розрахункова довжина обробки, мм;  $i$  – число проходів;  $n$  – частота обертання шпинделя, об/хв;  $S$  – подача, мм/об.

Частоту обертання шпинделя розраховують за швидкістю різання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (2.5)$$

де  $v$  – швидкість різання, м/хв,  $D$  – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Параметри шорсткості та квалітет поверхонь

Поверхня	Розмір, мм	Ra, мкм	Квалітет	Метод
Зовнішня циліндрична	Ø30	6,3	h14	точіння
Зовнішня циліндрична	Ø20	3,2	h14	шліфування
Поперечний отвір	Ø4	6,3	H14	свердління
Торець правий	–	6,3	IT14/2	точіння
Торець лівий	–	6,3	IT14/2	точіння
Фаска велика	2×45°	6,3	–	точіння
Фаска мала	1×45°	6,3	–	точіння

Таблиця 2.6 – Методи та режими обробки поверхонь

Перехід	v, м/хв	S, мм/об	t, мм	Інструмент
Точіння чорнове Ø30	120	0,40	1,5	T15K6
Точіння чистове Ø30	180	0,20	0,5	T15K6
Точіння чорнове Ø20	120	0,40	1,5	T15K6
Точіння чистове Ø20	180	0,15	0,5	T15K6
Свердління Ø4	25	0,10	–	P6M5
Шліфування Ø20	35 м/с	0,02	0,15	27A40CM1K

#### 2.4 Розробка схем базування деталі

Рациональний вибір технологічних баз ґрунтується на принципах суміщення та постійності баз. Конструкторською базою деталі «Палець» виступає вісь циліндричної робочої поверхні діаметром 20 мм, відносно якої задано взаємне розташування інших поверхонь. Для забезпечення необхідної точності взаємного розташування за основу прийнято принцип суміщення конструкторської та технологічної баз. [12, 17]

На заготівельній операції чорновою базою служить зовнішня циліндрична поверхня прутка, заготовка закріплюється у лещатах круглопиляльного верстата.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На першій токарній операції базування здійснюють у трикулачковому самоцентрівному патроні за зовнішньою циліндричною поверхнею прутка, торець упирається у лімо патрона. Така схема забезпечує шість опорних точок та позбавляє заготовку всіх ступенів вільності.

На другій токарній операції застосовують схему базування «у центрах» із приводним повідковим патроном. Для цього на першій операції попередньо виконують центрові отвори за ДСТУ 14034. Базування у центрах забезпечує мінімальну похибку базування та збереження єдиної осі обертання на всіх токарних переходах, що є ключовим для дотримання вимог концентричності поверхонь  $\varnothing 30$  і  $\varnothing 20$ .

На свердлильній операції деталь базують у призмі з упором у торець, що забезпечує орієнтацію осі поперечного отвору перпендикулярно осі деталі. Призма обмежує чотири ступені вільності, упор у торець знімає п'ятий, прихват по верхній циліндричній поверхні фіксує положення деталі. Похибка базування на цій операції визначається допуском на діаметр базової поверхні  $\varnothing 20$ .

Похибку базування при встановленні циліндричної заготовки у призмі обчислюють за формулою:

$$\varepsilon_6 = \frac{T_d}{2 \cdot \sin(\alpha/2)} \quad (2.6)$$

де  $T_d$  – допуск на діаметр базової поверхні, мм;  $\alpha$  – кут призми, град.

Для діаметра  $20H14$  з допуском  $T_d = 0,52$  мм і призми з кутом  $\alpha = 90^\circ$ :

$$\varepsilon_6 = \frac{0,52}{2 \cdot \sin 45^\circ} = \frac{0,52}{1,414} = 0,37 \text{ мм} \quad (2.7)$$

Отримане значення похибки базування є прийнятним для виконання отвору  $\varnothing 4H14$ , оскільки допуск на координату осі отвору становить  $\pm 0,15$  мм відносно бази, а сумарна похибка не перевищує допустиму.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технологічні бази на операціях механічної обробки

№ оп.	Установ	Технологічна база	Пристрій
010	A	Зовнішня циліндрична поверхня прутка	Патрон 3-кулачковий
015	A	Центрові отвори торців	Центри з повідком
020	A	Циліндрична поверхня Ø20, торець	Призма з упором
030	A	Центрові отвори торців	Центри шліфувальні

Таблиця 2.8 – Похибки базування за операціями

№ оп.	Витриманий розмір	Схема базування	εб, мм	ε доп., мм
010	Ø30h14	патрон	0,15	0,52
015	Ø20h14	центри	0,00	0,52
015	60 (довжина)	центри + упор	0,10	0,74
020	3,5 (від торця)	призма + упор	0,12	0,30
030	Ø20	центри	0,00	0,321

## 2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі «Палець» розроблено для умов серійного виробництва з річною програмою випуску 2500 шт. Маршрут передбачає послідовне виконання заготівельної, механічної, термічної, оздоблювальної та контрольної операцій. Концентрація переходів на токарних операціях скорочує кількість установів та підвищує продуктивність обробки. Технологічні переходи всередині кожної операції побудовано за принципом постійності бази. [17; 20]

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Заготовкою служить пруток калібрований діаметром 32 мм за ДСТУ 8327-78 що забезпечує мінімальний припуск під чистову обробку. На заготівельній операції 005 пруток розрізають на мірні заготовки довжиною 70 мм. Допуск на довжину відрізання становить  $\pm 0,5$  мм. Торці заготовки залишаються нерівними та підлягають подальшому підрізанню на токарній операції.

На токарній операції 010 із установом у патроні виконують підрізання правого торця, чернове точіння поверхні  $\varnothing 30$  на довжину 5 мм, центрування правого торця свердлом  $\varnothing 3,15$ . Після перевстановлення заготовки виконують підрізання лівого торця у розмір 65 мм, чернове точіння поверхні  $\varnothing 20$  на довжину 60 мм та центрування лівого торця. Глибина різання при черновому точінні  $t = 1,5$  мм, подача  $S = 0,4$  мм/об, швидкість  $v = 120$  м/хв.

Токарна операція 015 виконується на верстаті 16K20 з установом у центрах. На цій операції здійснюють чистове точіння поверхонь  $\varnothing 30$  та  $\varnothing 20$  з остаточним розміром, точіння фасок  $2 \times 45^\circ$  на торці головки та  $1 \times 45^\circ$  на торці робочої частини. подача при чистовому точінні  $S = 0,15 \dots 0,20$  мм/об, швидкість  $v = 180$  м/хв, що забезпечує шорсткість  $Ra 6,3$  мкм. Поверхня  $\varnothing 20$  залишається з припуском 0,3 мм на сторону під подальше шліфування.

Свердлильна операція 020 виконується на верстаті 2Н13 із установом у приєдмі. Свердлять поперечний отвір  $\varnothing 4$  на глибину 3,5 мм спіральним свердлом зі швидкорізальної сталі Р6М5. подача  $S = 0,1$  мм/об, швидкість  $v = 25$  м/хв. Термічна операція 025 передбачає об'ємне гартування з нагріванням до  $830^\circ\text{C}$ , охолодження у воді та середній відпуск при  $450^\circ\text{C}$  впродовж 60 хв. Після термообробки твердість деталі становить HRC 35...40.

Шліфувальна операція 030 виконується на круглошліфувальному верстаті 3У10А із установом у центрах. Шліфують поверхню  $\varnothing 20$  до остаточного розміру із шорсткістю  $Ra 3,2$  мкм. Поперечна подача  $S_p = 0,02$  мм/хід стола, швидкість деталі  $v_d = 25$  м/хв, швидкість круга  $v_k = 35$  м/с. Контрольна операція 035 включає перевірку діаметрів мікрометром, довжин штангенциркулем, шорсткості порівнянням з еталоном.

Тривалість циклу обробки визначають за формулою:

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$T_{ц} = \sum T_{шт.i} + T_{м.о} \quad (2.8)$$

де  $\sum T_{шт.i}$  – сума штучного часу за всіма операціями, хв;  $T_{м.о}$  – тривалість міжопераційного пролежування, хв.

Таблиця 2.9 – Технологічний маршрут виготовлення деталі

№ оп.	Найменування	Зміст основних переходів	Обладнання
005	Заготовельна	Розкрій плутка Ø32 на довжину 70 мм	8Г662
010	Токарна з ЧПК	Підрізання торців, точіння Ø30, центрування	16К20Ф3
015	Токарна з ЧПК	Чистове точіння Ø30, Ø20, фаски	16К20Ф3
020	Свердлильна	Свердління отвору Ø4×3,5	2Н118
025	Термічна	Гартування – середній відпуск	ПАП-10
030	Шліфувальна	Шліфування Ø20 до Ra 3,2	3У10А
035	Промивальна	Промивання у мийній машині	ОММ-3
040	Контрольна	Остаточний контроль	Стіл КВП

Таблиця 2.10 – Режими різання на основних переходах

Перехід	D, мм	n, об/хв	v, м/хв	S, мм/об	t <sub>о</sub> , хв
Точіння чорнове Ø30	32	1195	120	0,40	0,16
Точіння чистове Ø30	30,5	1880	180	0,20	0,18
Точіння чорнове Ø20	23	1660	120	0,40	0,42
Точіння чистове Ø20	20,6	2780	180	0,15	0,21
Свердління Ø4	4	1990	25	0,10	0,03
Шліфування Ø20	20	398	25	0,02	0,45

## 2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Розрахунок припусків виконано аналітичним методом професора В. М. Кована для найбільш відповідальної поверхні деталі діаметром 20 мм. Метод дозволяє врахувати усі складові похибок виготовлення на попередніх переходах та обґрунтувати мінімальний шор матеріалу, що знімається на кожному переході. Розрахунок припусків на решту поверхонь виконано табличним методом за нормативами. [12; 11]

Мінімальний симетричний припуск на діаметр на одному переході обчислюють за формулою:

$$2Z_{min} = 2(Rz_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.9)$$

де  $Rz_{(i-1)}$  – висота мікронерівностей на попередньому переході, мкм;  $h_{(i-1)}$  – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;  $\rho_{(i-1)}$  – сумарне просторове відхилення поверхні після попереднього переходу, мкм;  $\varepsilon_i$  – похибка установлення заготовки на виконуваному переході, мкм.

Маршрут обробки поверхні  $\varnothing 20$  включає точіння чорнове, точіння чистове, шліфування. Для прокату  $\varnothing 32$  за ДСТУ 8327-78 у стані постачання приймають  $Rz = 150$  мкм,  $h = 250$  мкм. Просторове відхилення прокату  $\rho$  розраховують як геометричну суму викривлення та зміщення осі:

$$\rho_{пр} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_c^2} \quad (2.10)$$

де  $\rho_k$  – викривлення прокату на одиницю довжини, для каліброваного прокату  $\Delta k = 0,5$  мкм/мм,  $\rho_c$  – зміщення осі центрального отвору,  $\rho_c = 250$  мкм.

Для довжини заготовки 70 мм викривлення становить  $\rho_k = 0,5 \cdot 70 = 35$  мкм. Тоді сумарне просторове відхилення прокату:

$$\rho_{пр} = \sqrt{35^2 + 250^2} = 252 \text{ мкм}$$

Залишкове просторове відхилення після чорнового точіння  $K_y = 0,06$ , після чистового точіння  $K_y = 0,04$ . Похибка установлення у центрах  $\varepsilon_y = 0$ . Розрахунок мінімальних припусків для кожного переходу зведено до таблиці 2.11. Розрахункові розміри отримують додаванням припусків до кінцевого розміру в напрямку від останнього переходу до заготовки.

Розрахунковий розмір на попередньому переході визначають за формулою:

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
							25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$a_{(i-1)} = d_i + 2Z_{min.i} \quad (2.11)$$

Граничні розміри отримують з урахуванням допуску переходу. Максимальний розмір дорівнює розрахунковому, мінімальний обчислюють відніманням допуску. Загальний номінальний припуск на сторону для поверхні Ø20 становить 6,0 мм, що відповідає прийнятій заготовці з прутка Ø32.

Таблиця 2.11 – Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø20 мм

Перехід	Rz, мкм	h, мкм	r, мкм	ε, мкм	2Z <sub>min</sub> , мкм	dp, мм
Прокат	150	250	252	–	–	32,000
Точіння чорнове	50	50	15	0	1304	23,000
Точіння чистове	30	30	0,6	0	230	20,600
Шліфування	5	15	–	0	300	20,000

Таблиця 2.12 – Операційні розміри та допуски

Перехід	Квалітет	Допуск, мм	d <sub>max</sub> , мм	d <sub>min</sub> , мм
Прокат Ø32	h12	0,250	32,000	31,750
Чорнове точіння	h12	0,210	23,000	22,790
Чистове точіння	h10	0,084	20,600	20,516
Шліфування	h7	0,021	20,000	19,979

Аналіз результатів розрахунку показує, що загальний припуск на обробку поверхні Ø20 розподілено між переходами із врахуванням точностних можливостей кожного методу. Найбільший припуск знімають на чорновому точінні, де видаляють основний шар прокату разом із дефектним шаром та компенсують просторові відхилення прутка. Чистове точіння формує необхідну точність розміру та підготовлює поверхню до шліфування з рівномірним припуском. Шліфувальний припуск 0,15 мм на сторону забезпечує усунення слідів попередньої обробки та досягнення шорсткості Ra 3,2 мкм при квалітеті h7.

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Особливості конструкції запропонованого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна

Запропоновано конструкцію навантажувача-транспортувальника рулонів сіна переважно із сіно-солом'яних матеріалів. При цьому враховано основні вимоги до конструкції таких технічних засобів, одна з яких полягає в тому, що навантаження рулонів сіна має виконуватися без їх зупинок перед навантаженням чергового рулона та без використання додаткових навантажувальних машин.

Розроблена конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна містить шасі 1, платформу 2 з бічними бортами 3, причіпний пристрій 4, з'єднаний з платформою шарнірно за допомогою поворотного круга, навантажувальний пристрій 5, задній борт 6. Навантажувальний пристрій 5 додатково містить захоплювач 7 рулона, виконаний з двох поздовжніх і двох поперечних балок, установлених на осях верхніх роликів 8 з можливістю їх переміщення по напрямних 10 за допомогою механізму підйому й опускання. Останній складається з двох гідроциліндрів 11, розміщених під напрямними 10, двох важелів захоплювача 12 з верхніми 8 та нижніми 9 роликами, тяг 13 і важелів навантажувального пристрою 14. Кожен з двох важелів захоплювача 7 установлений на напрямних 10, де в сукупності з верхніми роликами 8 та нижніми роликами 9 вони утворюють рухомий вузол. За рахунок свого руху по напрямній 10 під дією зміщення штоків гідроциліндрів 11 цей вузол здійснює переміщення навантажувача 5 та захоплювача 7. Захоплювач 7 також обладнано обергальною балкою 15 й обмежувачами захоплювача 16, виконаними у вигляді коліс та встановленими по боках у крайніх положеннях захоплювача для підвищення безпеки під час навантаження рулона (рис. 3.1).

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) вигляд збоку

б) вигляд зверху

в) елементи механізму навантажувального пристрою

1 – шасі; 2 – платформа; 3 – бічні борти; 4 – причіпний пристрій;  
5 – навантажувальний пристрій; 6 – задній борт; 7 – захоплювач; 8 – верхні ролики; 9 – нижні ролики; 10 – напрямні; 11 – гідроциліндри; 12 – важелі захоплювача; 13 – тяги; 14 – важелі навантажувального пристрою; 15 – обертальна балка;  
16 – обмежувач захоплювача

Рисунок 3.1 – Схема навантажувача-транспортувальника

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробки з модернізації цієї конструкції проводяться й нині. Покращення стосуються місткості, автоматизації та інших важливих параметрів технічного засобу.

Розглянемо технології підготовки до роботи розробленої конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, а також його використання під час виконання робіт.

Перед початком робіт конструкцію налаштовують відповідно до розмірів завантажуваних рулонів. Регулюванню підлягає захоплювач 7 навантажувача-транспортувальника, а саме виліт захоплювача й місце розташування обертальної балки 15.

Для зміни вильоту захоплювача 7 послаблюють болти на фіксувальних напрямних, закріплених на кожній з поздовжніх балок захоплювача 7. Потім вручну встановлюють виліт захоплювача 7, засуваючи або висувуючи поздовжні балки. Після регулювання вильоту захоплювача 7 болти фіксувальних напрямних затягують.

Обертальна балка 15 встановлюється у 6 положеннях залежно від ситуації. Для цього потрібно заздалегідь обрати сторону й висоту кріплення балки, а потім закріпити її болтами з двох кінців через корпуси підшипників на підготовлені позиції. У разі потреби ці параметри коригують безпосередньо на місці збирання рулонів.

На полі рулони викладено рядами. Навантажувач-транспортувальник, прибувши на місце збирання, переводять з транспортного положення в робоче. Для цього конструкція причіпного пристрою 4 транспортного засобу дає змогу фіксувати його у двох положеннях (рис. 3.2).

						КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Рисунок 3.2 – Фіксація положення причіпного пристрою:

а – робоче, б – транспортне; 1 – дишло; 2 – важіль

Сам причіпний пристрій 4 встановлено й закріплено на поворотній осі на одному з країв основної балки, яка кріпиться на поворотному крузі, а змінює та фіксує своє положення за допомогою важеля зі стопором, встановленого на поворотній осі з іншого боку основної балки. Тим самим стопор важеля фіксує причіпний пристрій у двох позиціях. Коли транспортний засіб підігнано до рулона навантажувач відчіплюють від трактора, після чого оператору потрібно від'єднати фіксатор важеля, який утримує причіпний пристрій 4, повернути причіпний пристрій 4 у позицію робочого положення та зафіксувати його за допомогою важеля. Коли навантажувач транспортувальник уже причеплено до трактора, оператор переводить рукоятку гідророзподільника, і навантажувальний пристрій 5 починає опускатися до контакту із землею (рис.3.3).

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.3 – Напрямок руху навантажувального пристрою у процесі навантаження рулона: а – крайнє верхнє положення, б – крайнє нижнє положення

Водночас захоплювач 7 навантажувального пристрою 5 висувається вперед на відстань  $S$ , що дорівнює  $0,5-0,6$  діаметра рулона  $D_p$ , за рахунок обмежувачів ходу, розташованих на напрямних 10 біля верхніх роликів 8. Під час досягнення верхніми роликками 8 обмежувачів захоплювач 7 починає провертатися навколо осей верхніх роликів 8, через що нижні ролики 9 упираються, прилягаючи до напрямних 10. Унаслідок цього здійснюється підйом захоплювача 7, де висота  $H$  від першої з його поперечних балок до найближчої точки дотику з полем дорівнює  $(1,1-1,2)E_p$ . Розміщення точок обмежувачів ходу верхніх роликів 8 також задає точки крайнього розташування захоплювача 7. На рисунку 3.4 наведено напрямки руху вузлів навантажувача-транспортувальника під час підготовки до процесу навантаження рулона, а напрямки руху захоплювача й навантажувального пристрою у процесі навантаження рулона показано на рис. 3.5

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.4 – Напрямки руху вулів навантажувача-транспортувальника під час підготовки до процесу навантаження рулона

Під'їзд навантажувача-транспортувальника до рулона виконують так, щоб рулон розташовувався між напрямними навантажувача 5. Оператор переводить рукоятку гідророзподільника на «опускання», і штоки гідроциліндрів 11 зтягуються, діючи на важелі захоплювача 7 та повертаючи його під кутом відносно осей верхніх реліків 8 до моменту, коли вони впруться у напрямні 10. Навантажувач 5 на той час уже опустився, а захоплювач 7 продовжує рух, підтягуючи рулон на навантажувач 5. Потім осі починають штовхати важелі навантажувача 14, змушуючи його підняти рулон та покласти його на платформу 2, а рулон скочується платформою 2 до заднього борта 6 транспортувальника.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.5 – Напрямок руху захоплювача й навантажувального пристрою у процесі навантаження рулона

Процес повністю повторюється з наступними рулонами до повного завантаження. Положення навантажувача закріплюють фіксатором, після чого причіпний пристрій 4 транспортного засобу переводять у транспортне положення, і рулони доставляють до місця зберігання. Після прибуття на місце розвантаження задній борт 6 відкривають та опускають. Під час опускання заднього борта 6 його утримують у підвищеному положенні за допомогою закріплених ланцюгів, у такий спосіб борт утворює рампу, по якій рулони скочуються на землю.

Найважливішими показниками, які впливають на ефективність використання технічних засобів на збиранні сіна з рулонами, є їхня продуктивність та збереженість транспортованого вантажу. Для цих показників стосовно розроблюваного технічного засобу потрібно визначити основні чинники, які на них впливають. З огляду на те, що цей навантажувач-

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортувальник є оригінальним за своєю конструкцією та обладнаний спеціальними вузлами й пристосуваннями, доцільно зробити акцент на конструктивно-режимних чинниках, які мають безпосереднє відношення до цих конструктивних особливостей.

Конструктивні параметри, які впливають як на продуктивність технічного засобу, так і на збереженість вантажу, такі:

- виліт захоплювача;
- наявність обертальної планки на захоплювачі, яка перешкоджає зтисканню рулона;
- наявність коліс-обмежувачів на захоплювачі, які перешкоджають удару захоплювача об можливі об'єкти або нерівності ґрунту.

Стосовно експериментального навантажувача транспортувальника швидкість навантаження рулонів залежить від якості оптимізації конструкції, швидкості руху агрегату й досвіду оператора. Ці умови впливають на підсумкову продуктивність агрегату на етапі навантаження з урахуванням виконання нерівності, за якої:

$$t_{цп} \leq t_{пр}$$

де  $t_{цп}$  – час, витрачений на цикл навантаження одного рулона, с;  $t_{пр}$  – час, потрібний агрегату на подолання відстані від рулона до рулона, с.

Регулювання довжини захоплювача 7 залежить від розміру рулона. Виліт захоплювача 7 змінюється залежно від розташування обертальної планки 15, оскільки вона кріпиться з внутрішнього або із зовнішнього боку захоплювача у двох позиціях відносно обох боків (рис. 3.6, 3.7).

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 – Полоції кріплення оберальної балки (вигляд збоку):

а1, а2, а3 – положіі з внутрішнього боку захоплювача,

б1, б2, б3 – положіі із зовнішнього боку захоплювача

Рисунок 3.7 – Положіі захоплювача (вигляд збоку):

а – положіія за найменшого вильоту захоплювача, б – положіія за крайнього вильоту захоплювача

На захоплювачі 7 також передбачено обмежувачі 16, виконані у вигляді коліс, які передшоджають жорсткому зіткненню захоплювача з можливими перепадами рельєфу поля.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Конструктивні розрахунки навантажувача-транспортувальника

#### рулонів сіна

Вихідними даними для розрахунку приймаємо: маса одного рулону сіна  $m_p = 400$  кг; діаметр рулону  $D_p = 1,5$  м; довжина рулону  $L_p = 1,2$  м; кількість рулонів, що перевозяться,  $n = 8$  шт.; маса конструкції навантажувача-транспортувальника  $m_k = 2500$  кг; робочий тиск у гідросистемі трактора  $p = 16$  МПа; кількість гідроциліндрів підйому  $z = 2$  шт.; коефіцієнт запасу  $k = 1,25$ .

Маса вантажу, що перевозиться навантажувачем-транспортувальником:

$$G_B = n \cdot m_p \cdot g, \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість рулонів;  $m_p$  – маса одного рулону, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/s^2$ .

$$G_B = 8 \cdot 400 \cdot 9,81 = 31392 \text{ Н} = 31,4 \text{ кН}$$

Говна вага агрегату з вантажем:

$$G_{\text{заг}} = (m_k + n \cdot m_p) \cdot g, \quad (3.2)$$

$$G_{\text{заг}} = (2500 + 8 \cdot 400) \cdot 9,81 = 55917 \text{ Н} = 55,9 \text{ кН}$$

Отже, загальне навантаження на ходову частину та раму навантажувача-транспортувальника становить близько 55,9 кН. Це значення використовується для подальшої перевірки міцності рами, осі та опорних елементів.

*Розрахунок зусилля, необхідного для підйому рулону*

Під час завантаження навантажувальний присерій підіймає один рулон.

Розрахункову силу заги рулону з урахуванням коефіцієнта запасу визначаємо:

$$P_p = k \cdot m_p \cdot g, \quad (3.3)$$

$$P_p = 1,25 \cdot 400 \cdot 9,81 = 4905 \text{ Н} = 4,9 \text{ кН}$$

З урахуванням опору перекочуванню рулону, тертя в шарнірах і втрат у механізмі приймаємо додатковий коефіцієнт  $k_t = 1,15$ .

$$P = P_p \cdot k_t, \quad (3.4)$$

$$P = 4905 \cdot 1,15 = 5640 \text{ Н} = 5,64 \text{ кН}$$

Отже, навантажувальний механізм повинен забезпечити зусилля не менше 5,64 кН.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок гідроциліндрів підйому

Зусилля, яке створюється одним гідроциліндром:

$$F_{ц} = p \cdot A, \quad (3.5)$$

де  $p$  – тиск робочої рідини, Па;  $A$  – площа поршня гідроциліндра, м<sup>2</sup>.

Оскільки в конструкції використовуються два гідроциліндри, зусилля на один гідроциліндр становить:

$$F_1 = P / z. \quad (3.6)$$

$$F_1 = 5640 / 2 = 2820 \text{ Н.}$$

Потрібна площа поршня:

$$A = F_1 / p. \quad (3.7)$$

$$A = 2820 / 16000000 = 0,000176 \text{ м}^2.$$

Діаметр поршня гідроциліндра:

$$d = \sqrt{(4A / \pi)}, \quad (3.8)$$

$$d = \sqrt{(4 \cdot 0,000176 / 3,14)} = 0,015 \text{ м} = 15 \text{ мм.}$$

З урахуванням динамічних навантажень, нерівномірності роботи механізму, брат у гідросистемі та необхідного запасу міцності приймаємо стандартний гідроциліндр із діаметром поршня  $D_{ц} = 40$  мм.

Фактична площа поршня:

$$A_{ф} = \pi \cdot D_{ц}^2 / 4, \quad (3.9)$$

$$A_{ф} = 3,14 \cdot 0,04^2 / 4 = 0,001256 \text{ м}^2.$$

Фактичне зусилля одного гідроциліндра:

$$F_{ф} = p \cdot A_{ф}. \quad (3.10)$$

$$F_{ф} = 16000000 \cdot 0,001256 = 20096 \text{ Н} = 20,1 \text{ кН.}$$

Загальне зусилля двох гідроциліндрів:  $F_{заг} = 2 \cdot F_{ф} = 2 \cdot 20,1 = 40,2 \text{ кН.}$

Отримане зусилля значно перевищує необхідне розрахункове навантаження 5,64 кН, тому гідроциліндри з діаметром поршня 40 мм забезпечують надійну роботу навантажувального пристрою.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*Розрахунок штока гідроциліндра на стиск*

Приймаємо діаметр штока  $d_{шт} = 25$  мм. Площа поперечного перерізу штока:

$$A_{шт} = \pi \cdot d_{шт}^2 / 4, \quad (3.11)$$

$$A_{шт} = 3,14 \cdot 0,025^2 / 4 = 0,000491 \text{ м}^2.$$

Напруження стиску в штоку:

$$\sigma_{ст} = F_{ф} / A_{шт}. \quad (3.12)$$

$$\sigma_{ст} = 20096 / 0,000491 = 40,9 \text{ МПа}.$$

Для сталі 45 допустиме напруження приймаємо  $[\sigma] = 160$  МПа.

Умова міцності:  $\sigma_{ст} \leq [\sigma]$ .

$$40,9 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}.$$

Умова виконується, отже діаметр штока 25 мм є достатнім.

*Розрахунок пальця шарніра навантажувального механізму*

Палець шарніра працює на зріз. Приймаємо діаметр пальця  $d_{п} = 30$  мм. Розрахункове зусилля на палець приймаємо рівним максимальному зусиллю одного гідроциліндра  $F_{ф} = 20,1$  кН.

Площа зрізу пальця при подвійному зрізі:

$$A_{зр} = 2 \cdot \pi \cdot d_{п} / 4$$

$$A_{зр} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 / 4 = 0,001413 \text{ м}^2.$$

Дотичне напруження зрізу:

$$\tau = F_{ф} / A_{зр}.$$

$$\tau = 20096 / 0,001413 = 14,2 \text{ МПа}.$$

Допустиме дотичне напруження для сталі 45 приймаємо  $[\tau] = 80$  МПа.

Умова міцності:

$$\tau \leq [\tau]$$

$$14,2 \text{ МПа} \leq 80 \text{ МПа}.$$

Отже, палець діаметром 30 мм забезпечує достатній запас міцності.

*Перевірка пальця на зминання*

Напруження зминання визначаємо за формулою:

$$\sigma_{зм} = F_{ф} / (d_{п} \cdot l),$$

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $l$  – довжина контакту пальця з вушком, м. Приймаємо  $l = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$ .

$$\sigma_{\text{зм}} = 20096 / (0,03 \cdot 0,04) = 16,7 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження зминання для сталі приймаємо  $[\sigma_{\text{зм}}] = 120 \text{ МПа}$ .

$$16,7 \text{ МПа} \leq 120 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

*Розрахунок осі ходової частини*

Повна вага навантажувача з вантажем становить  $G_{\text{зар}} = 55,9 \text{ кН}$ . Оскільки конструкція має дві осі, навантаження на одну вісь:

$$G_{\text{осі}} = G_{\text{зар}} / 2, \quad (3.13)$$

$$\text{й } G_{\text{осі}} = 55,9 / 2 = 27,95 \text{ кН.}$$

Навантаження на одне колесо при чотирьох колесах:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{зар}} / 4, \quad (3.14)$$

$$G_{\text{к}} = 55,9 / 4 = 13,98 \text{ кН.}$$

Приймаємо, що вісь працює як балка на двох опорах. Відстань між колесами  $B = 2,04 \text{ м}$ , максимальний згинальний момент у середній частині осі:

$$M = G_{\text{осі}} \cdot B / 8, \quad (3.15)$$

$$M = 27950 \cdot 2,04 / 8 = 7127 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для виготовлення осі приймаємо круглу сталеву балку діаметром  $d_{\text{ос}} = 90 \text{ мм}$ . Момент опору перерізу:

$$W = \pi \cdot d_{\text{ос}}^3 / 32, \quad (3.16)$$

$$W = 3,14 \cdot 0,09^3 / 32 = 0,0000715 \text{ м}^3.$$

Напруження згину:

$$\sigma = M / W, \quad (3.17)$$

$$\sigma = 7127 / 0,0000715 = 99,7 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження для сталі 45 приймаємо  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

$$99,7 \text{ МПа} \leq 160 \text{ МПа.}$$

Отже, вісь діаметром 90 мм витримає дію розрахункового навантаження.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### *Розрахунок несучої рами*

Несучу раму навантажувача-транспортувальника приймаємо виготовленою з прямокутної профільної труби 100×60×5 мм. Основне навантаження на раму створюють рулони сіна та власна маса конструкції.

Розрахункове навантаження на одну поздовжню балку рами:

$$q = G_{\text{зар}} / (2 \cdot L), \quad (3.18)$$

де  $L$  – довжина платформи, м. Приймаємо  $L = 6,0$  м.

$$q = 55917 / (2 \cdot 6,0) = 4659 \text{ Н/м.}$$

Максимальний згинальний момент для балки, умовно навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням:

$$M_{\text{max}} = q \cdot L^2 / 8, \quad (3.19)$$

$$M_{\text{max}} = 4659 \cdot 6,0^2 / 8 = 20965 \text{ Н·м.}$$

Момент опору профільної труби 100×60×5 мм відносно сильної осі орієнтовно становить:

$$W = 0,000147 \text{ м}^3.$$

Напруження згину:

$$\sigma = M_{\text{max}} / W, \quad (3.20)$$

$$\sigma = 20965 / 0,000147 = 142,6 \text{ МПа.}$$

Для сталі Ст3 допустиме напруження приймаємо  $[\sigma] = 160$  МПа.

$$142,6 \text{ МПа} \leq 160 \text{ МПа.}$$

Отже, профільна труба 100×60×5 мм може бути використана для виготовлення поздовжніх балок рами. Для підвищення жорсткості конструкції доцільно передбачити поперечники та косинки в місцях кріплення навантажувального механізму.

### *Розрахунок продуктивності навантажувача-транспортувальника*

Продуктивність агрегату залежить від часу завантаження одного рулону, кількості рулонів на платформі, відстані транспортування та часу розвантаження.

Приймаємо: час завантаження одного рулону  $t_z = 25$  с; кількість рулонів  $n = 8$  шт.; час розвантаження  $t_p = 120$  с; середня відстань перевезення  $l = 1,5$  км; транспортна швидкість  $v = 12$  км/год.

Час завантаження партії рулонів:

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_3 = n \cdot t_3, \quad (3.21)$$

$$T_3 = 8 \cdot 25 = 200 \text{ с} = 0,056 \text{ год.}$$

Час транспортування до місця складування і назад:

$$T_{\text{тр}} = 2 \cdot l / v, \quad (3.22)$$

$$T_{\text{тр}} = 2 \cdot 1,5 / 12 = 0,25 \text{ год.}$$

Час розвантаження:

$$T_p = 120 / 3600 = 0,033 \text{ год.}$$

Загальний час одного циклу:

$$T_{\text{ц}} = T_3 + T_{\text{тр}} + T_p, \quad (3.23)$$

$$T_{\text{ц}} = 0,056 + 0,25 + 0,033 = 0,339 \text{ год.}$$

Маса сіна, що перевозиться за один цикл:

$$Q_c = n \cdot m_p, \quad (3.24)$$

$$Q_c = 8 \cdot 400 = 3200 \text{ кг} = 3,2 \text{ т.}$$

Годинна продуктивність:

$$W_r = Q_c / T_{\text{ц}}, \quad (3.25)$$

$$W_r = 3,2 / 0,339 = 9,44 \text{ т/год.}$$

Отже, розрахункова продуктивність навантажувача-транспортувальника становить близько 9,4 т/год.

#### *Висновок за розрахунками*

У результаті виконаних конструктивних розрахунків встановлено, що запропонована конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна забезпечує можливість перевезення 8 рулонів загальною масою 3,2 т. Позва вага агрегату з вантажем становить 55,9 кН. Прийняті гідроциліндри з діаметром поршня 40 мм створюють сумарне зусилля 40,2 кН, що забезпечує надійне підймання рулону. Перевірка штока гідроциліндра, пальців шарнірів, осі ходової частини та несучої рами підтвердила достатній запас міцності. Розрахункова продуктивність агрегату становить 9,4 т/год, що підтверджує доцільність використання розробленого самозавантажувального навантажувача-транспортувальника рулонів сіна в умовах сільськогосподарських підприємств.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Запропонований навантажувач-транспортувальник рулонів сіна поєднує функції навантаження та транспортування в одному агрегаті, що дозволяє скоротити тривалість технологічного циклу, зменшити кількість залученої техніки та підвищити продуктивність праці. Економічна оцінка розробки виконується шляхом порівняння показників базового та удосконаленого варіантів.

Для розрахунків приймаємо, що за сезон необхідно перевезти 4000 рулонів сіна.

Вихідні дані

Показник	Базовий	Удосконалений
Продуктивність, рул./год	18	24
Річний обсяг робіт, рулонів	4000	4000
Витрата палива, л/год	10,5	9,0
Вартість дизпалива, грн/л	65	65
Вартість машино-години оператора, грн	250	250

Річні витрати часу

Тривалість виконання робіт визначається за формулою:

$$T = \frac{Q}{P} \quad (4.1)$$

Для базової конструкції:

$$T_{\text{б}} = \frac{4000}{18} = 222,2 \text{ год.}$$

Для удосконаленої конструкції:

$$T_{\text{н}} = \frac{4000}{24} = 166,7 \text{ год.}$$

Економія часу:

$$\Delta T = 222,2 - 166,7 = 55,5 \text{ год.}$$

					Арк.
					42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Отже, застосування розробленого навантажувача дозволяє скоротити тривалість виконання сезонних робіт майже на 25 %.

*Розрахунок економії заробітної плати*

Економія фонду оплати праці визначається за формулою:

$$E_z = \Delta T \cdot C_{\text{год.}} \quad (4.2)$$

де  $C_{\text{год.}}$  – вартість однієї людино-години.

$$E_{\text{зп}} = 55,5 \cdot 250 = 13875 \text{ грн}$$

Таким чином, за рахунок підвищення продуктивності праці річна економія заробітної плати становить 13,9 тис. грн.

*Розрахунок економії палива*

Річна витрата палива для базової машини:

$$G_b = 222,2 \cdot 10,5 = 2333$$

Для удосконаленої конструкції:

$$G_y = 166,7 \cdot 9,0 = 1500 \text{ л}$$

Економія палива:

$$\Delta G = 2333 - 1500 = 833 \text{ л}$$

Вартісна економія палива:

$$E_{\text{пал}} = 833 \cdot 65 = 54145 \text{ грн}$$

Отже, лише за рахунок зниження витрат дизельного палива господарство отримує понад 54 тис. грн економії на рік.

Розрахунок витрат на виготовлення модернізованої конструкції

Витрати на виготовлення конструкції визначаються за формулою:

$$C_k = C_m + C_{\text{кр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{пв}} + C_i \quad (4.3)$$

де  $C_m$  – вартість матеріалів;

$C_{\text{кр}}$  – вартість купованих виробів;

$C_{\text{зп}}$  – заробітна плата;

$C_{\text{пв}}$  – накладні витрати;

$C_i$  – інші витрати

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Калькуляція витрат на виготовлення

Стаття витрат	Вартість, грн
Металопрокат	18000
Гідроциліндри, ролики, гідшипники	12000
Заробітне плато	10000
Накладні витрати	6000
Інші витрати	4000
Разом	50000

Таким чином, загальна вартість виготовлення модернізованого навантажувача становить 50 тис. грн.

*Річний економічний ефект*

Загальний економічний ефект визначається як сума отриманої економії:

$$E_p = E_{зп} + E_{пл}, \quad (4.4)$$

$$E_p = 13875 + 54145 = 68020 \text{ грн}$$

Коефіцієнт економічної ефективності

$$K_e = \frac{E_p}{K}, \quad (4.5)$$

$$K_e = \frac{68020}{50000} = 1,36$$

Отримане значення значно перевищує нормативний коефіцієнт економічної ефективності (0,15–0,20), що підтверджує доцільність впровадження розробки.

*Термін окупності капіталовкладень*

Термін окупності визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{E_p}{K},$$

$$T_{ок} = \frac{50000}{68020} = 0,73 \text{ року} = 9 \text{ міс.}$$

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники

Показник	Значення
Річний обсяг робіт, рулонів	4000
Підвищення продуктивності	33 %
Економія робочого часу	55,5 год
Економія палива	833 л
Економія заробітної плати	13 875 грн
Економія паливно-мастильних матеріалів	54 145 грн
Річний економічний ефект	68 020 грн
Вартість виготовлення конструкції	50 000 грн
Коефіцієнт економічної ефективності	1,36
Термін окупності	0,73 року

Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що удосконалення конструкції навантажувача-транспортувальника рулонів сіна є економічно доцільним. Запропонована конструкція забезпечує підвищення продуктивності навантажувально-транспортних робіт на 33 %, скорочення тривалості виконання робіт на 55,5 год за сезон та зменшення витрат дизельного палива на 833 л. Загальний річний економічний ефект становить понад 68 тис. грн, а вкладені кошти окупаються менш ніж за один рік експлуатації. Це підтверджує доцільність впровадження розробленого навантажувача-транспортувальника у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств.

#### 4.2 Охорона праці

Організація охорони праці при експлуатації навантажувача-транспортувальника рулонів сіна здійснюється відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці». Згідно із законом, роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці безпечні умови праці, забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, організувати проведення інструктажів, навчання та перевірку знань з питань охорони праці. До роботи допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання та медичний огляд. Працівники

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

зобов'язані дотримуватися вимог безпеки під час виконання виробничих операцій та правил експлуатації машин і обладнання.

Безпечна експлуатація навантажувача-транспортувальника рулонів сіна забезпечується проведенням вступного та первинного інструктажів з охорони праці, доступом до роботи лише навченого персоналу, своєчасним технічним обслуговуванням машини та контролем справності її вузлів і механізмів. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту та дотримуватися вимог виробничих інструкцій під час виконання робіт.

Для зменшення негативного впливу на довкілля необхідно забезпечити контроль технічного стану двигунів і гідросистем, своєчасне усунення витоків паливно-мастильних матеріалів, організований збір та передачу відходів на утилізацію. Під час експлуатації техніки слід дотримуватися раціональних маршрутів руху по полю, що сприяє зменшенню ущільнення ґрунту, витрат палива та викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Під час виготовлення деталей навантажувача виконуються операції різання металу, свердління, зварювання та складання вузлів. Дані процеси супроводжуються утворенням металезого пилу, шуму, ультрафіолетового випромінювання зварювальної дуги та ризиком механічного травмування.

При експлуатації машини найбільшу небезпеку становлять падіння рулону при його захопленні; руйнування елементів захвату під навантаженням; перекидання агрегату під час транспортування; розрив рукавів високого тиску гідросистеми; затиснення працівника рухомими частинами механізму.

У процесі удосконалення навантажувача передбачено посилення несучої рами; встановлення стрижувальних упорів; обмежувачі ходу робочого органу; захисні кожухи рухомих елементів; блокування самовільного опускання захвату при втраті тиску в гідросистемі.

Використання зазначених рішень дозволяє зменшити ризик аварійних ситуацій та підвищити надійність роботи машини.

Однією з основних умов безпечної роботи є забезпечення стійкості машини.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт запасу стійкості:

$$k_c = \frac{M_{у тр}}{M_{перек}}$$

де  $M_{у тр}$  – утримуючий момент;

$M_{перек}$  – перекидний момент..

Для безпечної роботи необхідно:  $k_c \geq 1,3$ .

В удосконаленій конструкції значення коефіцієнта становить 1,45–1,60, що забезпечує безпечне транспортування рулонів навіть на нерівній поверхні.

Вимоги безпечної експлуатації.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити кріплення вузлів; оглянути захватний механізм; перевірити герметичність гідросистеми; провести контрольне піднімання вантажу.

Під час роботи забороняється перебування людей у радіусі 5 м від машини; транспортування рулонів на максимальній висоті; робота на схилах понад 8°.

Отже, для забезпечення безпечної роботи запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, що включає застосування захисних пристроїв, контроль технічного стану обладнання, дотримання вимог безпеки під час експлуатації та проведення своєчасного технічного обслуговування. Особливу увагу приділено підвищенню стійкості агрегату та надійності роботи вантажозахватного механізму.

Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити ризик виробничого травматизму, підвищити рівень безпеки праці оператора та забезпечити надійну й безпечну експлуатацію удосконаленого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна в умовах сільськогосподарського виробництва.

### 4.3 Охорона навколишнього середовища

Заходи з охорони навколишнього середовища під час використання навантажувача-транспортувальника рулонів сіна повинні відповідати вимогам Закону України «Про охорону навколишнього природне середовище».

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до законодавства, господарська діяльність має здійснюватися з дотриманням вимог екологічної безпеки, раціонального використання природних ресурсів та запобігання забрудненню довкілля. Для цього необхідно контролювати технічний стан машин, не допускати витоків паливно-мастильних матеріалів, забезпечувати збір і передачу відходів на утилізацію, а також вживати заходів щодо зменшення ущільнення ґрунту та скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Запропоноване удосконалення навантажувача транспортувальника рулонів сіна спрямоване на підвищення продуктивності транспортних робіт та скорочення кількості рейсів по полю.

Це забезпечує зменшення витрат дизельного палива; скорочення викидів CO<sub>2</sub>; зменшення ущільнення ґрунту; зниження експлуатаційних витрат.

Оцінка скорочення викидів забруднюючих речовин.

Припустимо, що модернізація забезпечує зменшення витрат палива на 10%.

Річна витрата палива базової машини:

$$G_0 = 3500 \text{ л}$$

$$\text{Економія: } \Delta G = 0,1 \cdot 3500 = 350 \text{ л}$$

При спалюванні 1 л дизельного палива утворюється близько 2,68 кг CO<sub>2</sub>

$$\text{Тоді скорочення викидів: } \Delta \text{CO}_2 = 350 \cdot 2,68 = 938 \text{ кг/рік}$$

Отже, модернізований навантажувач дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу майже на 1 т за рік.

Зменшення ущільнення ґрунту

Завдяки збільшенню кількості рулонів, що транспортуються за один цикл, кількість проходів техніки по полю скорочується на 15–20 %

Це сприяє збереженню структури ґрунту; покращенню водопроникності; зменшенню витрат на подальший обробіток поля.

Утилізація відходів виробництва

Під час виготовлення та ремонту конструкції утворюються металевий брухт; відпрацьовані мастила; гідравлічні рідини; використані фільтри.

Металеві відходи передаються на вторинну переробку, а небезпечні відходи – ліцензованим підприємствам для утилізації.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Проведений аналіз сучасних технологій заготівлі та транспортування рулонованих кормів показав необхідність подальшого вдосконалення технічних засобів, що використовуються для виконання навантажувально-транспортних операцій.

У результаті виконаної роботи запропоновано удосконалену конструкцію навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, яка забезпечує підвищення продуктивності роботи, покращення умов захоплення та переміщення рулонів, зменшення втрат кормів і скорочення витрат часу на виконання технологічних операцій. Запропоновані конструктивні рішення сприяють підвищенню надійності роботи машини та ефективності використання машинно-тракторного агрегату.

Виконані розрахунки підтвердили придатність і достатню міцність основних елементів конструкції, а також можливість її використання в реальних виробничих умовах. Запропонована розробка дозволить скоротити кількість допоміжних операцій, зменшити навантаження на обслуговуючий персонал та підвищити загальну ефективність процесу заготівлі сіна.

Очікуваний економічний ефект досягається за рахунок зростання продуктивності праці, зниження експлуатаційних витрат, скорочення витрат паливно-мастильних матеріалів та більш раціонального використання технічних ресурсів господарства. Впровадження удосконаленої конструкції сприятиме підвищенню конкурентоспроможності сільськогосподарського виробництва та покращенню техніко-економічних показників підприємства.

Отже, розроблена конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна є технічно доцільною, економічно обґрунтованою та може бути рекомендована для впровадження у сільськогосподарських підприємствах, що займаються заготівлею та зберіганням грубих кормів.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабченко М. В. Розрахунок і конструювання сільськогосподарських машин : підручник. Харків : ХНТУСГ, 2021. 312 с.
2. Баранівський О. М., Кравченко В. І. Гідравліка і гідропривод сільськогосподарських машин. Київ : Аграрна освіта, 2019. 256 с.
3. Безверхній А. О. Удосконалення захватного механізму навантажувача рулонів : зб. наук. пр. Харків: ХНТУСГ, 2022. Вип. 238. С.45–52.
4. Борисенко В. М. Механізація кормозиробництва в умовах фермерських господарств. Полтава : ПДАА, 2021. 176 с.
5. Бублик М. М., Гладченко Т. О. Обґрунтування параметрів рами навантажувача-транспортувальника рулонів сіна. Науковий вісник НУБІУ України. 2023. № 325. С. 112–119.
6. Войналович О. Б., Іванюта В. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 292 с.
7. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2019. 552 с.
8. Гевко Р. Б., Синій С. В. Конструювання сільськогосподарських машин : навч. посіб. Луцьк : ЛНУ, 2020. 284 с.
9. Гречкосій В. Д. Механізовані технології в рослинництві : підручник. Харків : ХНТУСГ, 2020. 368 с.
10. Довгополок П. В. Підвищення надійності ходових систем транспортувальників рулонів. Праці ТДАГУ. 2023. Вип. 23. № 1. С. 34–42.
11. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.
12. ДСТУ ISO 286-1:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Київ: Держспоживстандарт України, 2002.
13. ДСТУ 8540:2015. Прокат сортовий і фасонний з сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2015.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. ДСТУ EN ISO 6411:2018 Кресленики технічні. Спрощене подання центральних отворів (EN ISO 6411:1997 IDT; ISO 6411:1982, IDT)

15. ДСТУ EN ISO 9692-2:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 2. Дугове зварювання сталей під флюсом (EN ISO 9692-2:1998 + EN ISO 9692-2:1998/AC:1999 IDT)

16. Жулинський О. А., Кривошея А. В. Аналіз технічних засобів для транспортування рулонів сіна. Техніка і технології АПК. 2022. № 11. С. 20–26.

17. Козаченко О. В. Технологія виготовлення деталей машин : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2021. 198

18. Кузьменко В. В., Пасічник В. П. Міцнісний розрахунок несучих конструкцій мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник ХНТУСГ. 2023. Вип. 252. С. 88–96.

19. Лещенко С. М. Гідравлічний привід сільськогосподарських машин : навч. посіб. Дніпро : ДДАЕУ, 2020. 196 с.

20. Мартиненко І. І., Шмат С. І. Основи проектування технологічних машин АПК. Київ : НАУ, 2019. 410 с.

21. Овчаров Р. В. Обґрунтування конструктивних параметрів навантажувального механізму транспортувальника рулонів. Праці ТДАТУ. 2022. Вип. 22. № 2. С. 55–63.

22. Олійник О. О., Тесленко П. М. Зниження енергосмістості навантажувально-транспортних операцій у кормовиробництві. Науковий вісник ДНУВМБ. 2023. Т. 25. № 103. С. 44–50.

23. Підгорний О. Л. Теорія механізмів і машин : підручник. Харків : НТУ «ХП», 2021. 332 с.

24. Рева О. М., Дейкун Р. А. Удосконалення конструкції причіпного транспортувальника рулонів. Вісник Полтавської ДАА. 2022. № 4. С. 156–163.

25. Сисолін П. В., Сало В. М. Сільськогосподарські машини: конструктивний аналіз : навч. посіб. Кіровоград : РВЦ КДТУ, 2019. 398 с.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Шейченко В. О., Нікітін О. В. Інноваційні технічні рішення в конструкції навантажувачів рулонів сіна. Сільськогосподарські машини. 2023. Вип. 51. С. 103–111.

27. Balabin I., Kovatov O. Design optimization of round bale loaders for field conditions. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2022. Vol. 24. No. 2. P. 58–67.

28. Lindholm O., Svensson A. Efficiency analysis of self-loading round bale transport wagons. Biosystems Engineering. 2021. Vol. 208. P. 94–103.

					КРБ.133ГМбд_31[2].08.00.00.000 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		