

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Механізація вирощування кукурудзи на силос з вдосконаленням конструкції
подрібнювача-навантажувача грубих кормів»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Порфір'єв Олег Юрійович

« _____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Володимир АМОСОВ

« _____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Тимофій РУДЕНКО

« _____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма ОПП «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2025 року

**ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Порфір'єв Олег Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування кукурудзи на силос з вдосконаленням конструкції подрібнювача-навантажувача грубих кормів
2. Керівник роботи (проекту)
Амосов Володимир Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 10.12.2025 р.
4. Мета та завдання дипломної роботи (проекту) Метою даної дипломної роботи є вдосконалення технології вирощування кукурудзи на силос шляхом підвищення ефективності процесу його вивантаження зі сховищ
5. Перелік графічного матеріалу Технологічна карта. Вивантажувачі грубих кормів. Теоретичні дослідження, Схема вивантажувача стебельчастих кормів ПСК-5. Фрезбарабан. Деталювання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та оформлення розділів 1 та 2	15.10.2025 р.	
2	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу 3	29.10.2025 р.	
3	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу 4	5.11.2025 р.	
4	Оформлення графічної частини ДР	19.11.2025 р.	
5	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділів 5 та 6	26.11.2025 р.	
6	Нормоконтроль, захист ДР на засіданні ДЕК	Згідно з графіком	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис керівника

_____ Амосов В.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

Порфір'єв О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Порфір'єв, О. Ю. Механізація вирощування кукурудзи на силос з вдосконаленням конструкції подрібнювача-навантажувача грубих кормів: кваліфікаційна магістерська робота : спец. Н7 «Агроінженерія» / наук. кер. В.В. Амосов; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 50 с.

Вдосконалено технологічний процес вирощування кукурудзи на силос. Проведений аналіз сучасних технічних засобів для механізації вивантаження грубих кормів зі сховищ. Проведені теоретичні дослідження процесу фрезерування моноліту корму та запропонована вдосконалена конструкція фрезбарабана, що дозволило покращити якість і ефективність роботи вивантаження грубих кормів.

Запропоновано заходи по покращенню умов праці механізатора.

подрібнювач-навантажувач, грубий корм, фрезерування, фрезбарабан

Porfiriev Oleg

Mechanization of corn cultivation for silage with improvement of the design of the roughage chopper-loader

The technological process of growing corn for silage has been improved. An analysis of modern technical means for the mechanization of the unloading of coarse fodder from storage facilities has been carried out. Theoretical studies of the milling process of the fodder monolith were carried out and an improved design of the milling drum was proposed, which made it possible to improve the quality and efficiency of the coarse forage unloading process.

Measures to improve the working conditions of the machine operator are proposed.

chopper-loader, coarse feed, milling, milling drum

ЗМІСТ

	стор.
ЗМІСТ	5
1. ВСТУП	6
2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
2.1 Аналіз типової технології вирощування кукурудзи на силос	7
2.2 Операційна технологія вивантаження силосу з траншеї	11
2.3 Огляд машин та устаткування для навантаження силосу й грубих кормів	13
3. НАУКОВА ЧАСТИНА.....	22
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	29
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТКИ.....	50

1. ВСТУП

Подальший розвиток сільського господарства тісно пов'язаний з інтенсифікацією виробництва та переходом до сучасних індустріальних технологій, що є одним із найбільш перспективних напрямів його вдосконалення. В умовах ринкової економіки та тривалої економічної нестабільності ключовими завданнями розвитку тваринницької галузі в Україні залишаються підвищення продуктивності праці, покращення якості тваринницької продукції та зростання загальної ефективності виробничих процесів.

Реалізація зазначених завдань можлива лише за умови систематичного оновлення технічних засобів, впровадження сучасних технологій і створення надійної кормової бази. Особливої актуальності це питання набуває у стійловий період утримання тварин, коли спостерігається дефіцит якісних кормів.

Вагому роль у структурі раціону великої рогатої худоби відіграють консервовані корми, зокрема силос і сінаж, частка яких у зимовому годуванні перевищує 50%. Загалом витрати на корми складають 50–70% собівартості сільськогосподарської продукції. Крім того, ці види кормів широко використовуються і в інші періоди року – навесні, влітку та восени, коли виникає нестача зеленої маси. Отже, рівень якості силосу безпосередньо впливає на ефективність ведення тваринництва в цілому.

Метою даної дипломної роботи є вдосконалення технології вирощування кукурудзи на силос шляхом підвищення ефективності процесу його вивантаження зі сховищ. Для цього пропонується замінити грейферний навантажувач ПГ-0,5Д на вивантажувач безперервної дії ПСК-5.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Аналіз типової технології вирощування кукурудзи на силос

Кукурудза є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, яка має велике народногосподарське значення. Вона широко використовується як кормова, продовольча та технічна рослина. Основними напрямками її вирощування є отримання зерна, зеленої маси та силосу.

Зерно кукурудзи відзначається високою поживною цінністю і належить до найбільш ефективних концентрованих кормів, особливо у годівлі свиней та птиці. Один кілограм зерна кукурудзи відповідає приблизно 1,34 кормової одиниці. Його хімічний склад характеризується вмістом 65–70% безазотистих екстрактивних речовин, 9–12% білка, 4–5% жиру та незначною кількістю клітковини. З метою підвищення продуктивності тварин у складі комбікормів зернова частина повинна містити не менше 40% кукурудзи.

Кукурудза є основною культурою для заготівлі силосу. Поживність одного центнера силосу з кукурудзи, зібраної у фазі молочно-воскової стиглості, становить 22–24 кормові одиниці, а у фазі воскової стиглості – 28–30 кормових одиниць. Крім того, зелена маса кукурудзи використовується як цінний соковитий корм для сільськогосподарських тварин. Важливу роль ця культура відіграє також у системі зеленого конвеєра, зокрема у поукісних та післяжнивних посівах.

Кукурудза має значне продовольче значення. З її зерна виробляють борошно, крупи, рослинну олію, крохмаль, консерви, сиропи, спирт, цукор, пиво та інші продукти. У промисловості використовують не лише зерно, а й інші частини рослини – стебла, стрижні качанів та обгортки, з яких виготовляють будівельні та технічні матеріали, фарби, клеї й медикаменти. Таким чином, кукурудза є практично безвідходною культурою.

З агротехнічної точки зору кукурудза має важливе значення, оскільки після її вирощування поле залишається відносно чистим від бур'янів. Крім того, покращуються фізичні властивості ґрунту та створюються сприятливі умови для накопичення вологи. За результатами багаторічних досліджень Єрастівської дослідної станції Інституту зернового господарства ІААН встановлено, що в півтораметровому шарі ґрунту запаси вологи після кукурудзи на зерно становили 72,3 мм, тоді як після озимої пшениці – 39,8 мм, ячменю – 37 мм, а соняшнику – 35 мм. При збиранні кукурудзи на зерно вона є добрим попередником для ярих культур, а при вирощуванні на силос або зелений корм – для озимих.

Сучасна технологія вирощування кукурудзи передбачає виконання комплексу механізованих операцій, які включають основний і передпосівний обробіток ґрунту, сівбу, внесення добрив і гербіцидів, а також міжрядний обробіток посівів. Завершальним етапом технологічного процесу є збирання врожаю.

Для зменшення втрат вологи з переущільненого ґрунту після збирання попередника проводять лушення стерні на глибину 7–8 см. Цю операцію виконують дисковими лушильниками типу ЛДГ-10А та ЛДГ-5А, які агрегують з тракторами Т-150К або ДТ-75. Лушення здійснюють упоперек напрямку руху збиральних агрегатів зі швидкістю до 10 км/год.

До якості виконання лушення висуваються такі вимоги: відхилення середньої глибини обробітку не повинно перевищувати ± 2 см; поверхня поля має бути рівною, а верхній шар ґрунту – дрібногрудкуватим; глибина розвальної борозни у місцях стику середніх батарей не допускається більше 8 см.

Внесення добрив є важливим елементом технології вирощування кукурудзи. Перед проведенням оранки в ґрунт вносять повну норму фосфорних і калійних добрив, а також половину норми азотних. Решту азотних добрив застосовують навесні. Органічні добрива вносять за допомогою причепів-розкидачів РОУ-6, а для внесення мінеральних добрив

використовують розкидачі типу МВУ-8 та МВУ-0,5. Дані машини агрегують з тракторами Т-150К та МТЗ-80.

Основні вимоги до якості розкидання добрив передбачають відхилення фактичної норми внесення від заданої не більше $\pm 5\%$, нерівномірність розподілу по ширині захвату – до $\pm 15\%$ для мінеральних і до $\pm 25\%$ для органічних добрив, а по ходу руху агрегату – не більше $\pm 10\%$.

Оранку проводять на глибину 28...32 см плугами загального призначення ПЛН-5-35 та ПЛН-3-35, при цьому заорюються внесені органічні і мінеральні добрива.

Відхилення середньоарифметичного значення фактичної глибини оранки від заданої не повинно перевищувати $\pm 5\%$ на рівних ділянках і $\pm 10\%$ - на нерівних. Відхилення фактичної ширини захвату плуга від конструктивної $\pm 10\%$. При оранці ширина і товщина шарів були однакові, рослинні рештки і добрива повністю загорнуті, а гребені шарів мали однакову висоту (не більше 5 см). Не допускаються високі звальні гребені, глибокі розвальні борозни між окремими проходами та скриті огріхи.

Вирівнювання ґрунту проводять навесні, при наставанні його фізичної стиглості причіпними котками ЗЗККШ-6.

При роботі котків не допускаються необроблені ділянки.

Передпосівну культивуацію виконують культиватором КПС-4 та широкозахватною машиною КШУ-12.

Культивуацію проводять в стислі строки перед посівом. Відхилення середньоарифметичного значення фактичної глибини культивуації від заданої не повинно перевищувати ± 1 , висота не більше 2 см). Не допускаються скриті огріхи.

Посів кукурудзи розпочинають при досягненні температури ґрунту 10...12°C на глибину загортання насіння. Сіють кукурудзу начіпними пневматичними сівалками СУПН-8А.

Допустиме відхилення глибини посіву насіння - ± 1 см.

Відхилення від норми висіву насіння не більше 5...8%. Допустиме відхилення від розрахункового інтервалу між насінням - не більше 30%. Відхилення ширини основних міжрядь ± 1 см. Сівбу кукурудзи на одному полі виконують за один-два дні. Агротехнічні строки для посіву кукурудзи передбачають загальну тривалість посівних робіт не більше п'яти - шести днів.

Прикочування посівів виконують кільчасто-шпоровими котками ЗЗККШ-6.

Міжрядну культивуацію проводять з метою рихлення ґрунту, знищення бур'янів та підживлення культури. Обробіток міжрядь виконують просапним культиватором КРН-4,2 на глибину 6...10 см.

Необроблені смуги, пропуски між сусідніми проходами агрегату, пошкодження рослин не допускаються. Захисні зони встановлюються в залежності від віку рослин. При внесенні мінеральних добрив відхилення фактичної дози від заданої не більше $\pm 5\%$, нерівномірність розподілення по ширині захвату $\pm 15\%$, нерівномірність розподілення по ходу агрегату $\pm 10\%$.

Збирання кукурудзи на силос

Обсяг отриманого врожаю та його кормова цінність значною мірою визначаються правильним вибором строків збирання кукурудзи. Найвищі показники врожайності зеленої маси зазвичай спостерігаються на початку фази молочної стиглості зерна. Водночас у цей період вміст сухої речовини та кількість кормових одиниць у силосі є нижчими, ніж при пізніших фазах розвитку рослин.

Максимальний вихід сухої речовини та кормових одиниць досягається під час збирання кукурудзи у фазі молочно-воскової та воскової стиглості. Силос, заготовлений із надто вологої рослинної маси на ранніх етапах розвитку, характеризується підвищеною кислотністю та, як наслідок, гірше споживається тваринами. Разом з тим, надмірне запізнення зі збиранням, зокрема на початку

повної стиглості зерна або пізніше, призводить до погіршення якості силосу та зниження перетравності органічної речовини корму.

Отже, оптимальним строком збирання кукурудзи на силос є період молочно-воскової та воскової стиглості, коли вологість зеленої маси знаходиться в межах 60–70%, що забезпечує високу поживну цінність корму та добру його поїдання тваринами.

За результатами досліджень Інституту кукурудзи встановлено, що найбільший урожай зеленої маси отримують при збиранні рослин у фазі молочної стиглості. Водночас максимальний вихід сухої речовини та кормових одиниць забезпечується при збиранні кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна.

Процес збирання кукурудзи на силос передбачає виконання комплексу взаємопов'язаних операцій у потоковому режимі. До них належать скошування стебел разом із качанами з одночасним подрібненням, транспортування подрібненої зеленої маси, її вивантаження у місцях силосування та подальше ущільнення силосної маси.

2.2 Операційна технологія вивантаження силосу з траншеї

Після відкриття силосних траншей у кормовій масі швидко порушується анаеробний режим. Унаслідок розгерметизації до силосу починає надходити атмосферне повітря, яке проникає у глибші шари корму. Це створює сприятливі умови для активізації мікроорганізмів, що раніше перебували у неактивному стані, зокрема маслянокислих і гнилісних бактерій, а також пліснявих грибів. У результаті відбувається інтенсивне руйнування поживних речовин та небезпечне підвищення температури силосної маси.

У процесі псування корму часто з'являються цвілеві ураження, що супроводжуються накопиченням токсичних речовин. Згодовування такого силосу може викликати порушення травлення у тварин і в окремих випадках призводити до їх загибелі.

Найбільш чутливим до вторинного псування є кукурудзяний силос високої якості, оскільки він містить значну кількість вуглеводів і молочної кислоти. Саме ці компоненти слугують основним джерелом енергії для аеробної мікрофлори. У процесі повторної ферментації утворюються вуглекислий газ, вода та значна кількість тепла. Частина теплової енергії відводиться в навколишнє середовище, однак температура корму може підвищуватися до 50 °С, що спричиняє втрати сухої речовини до 30 %.

Відомо, що для якісного силосування необхідна повна відсутність кисню. У день заготівлі це забезпечується щільним укриттям силосної маси полімерною плівкою з подальшою герметизацією. Однак після завершення ферментації та початку використання корму виникає потреба у його регулярному вийманні.

Дотримання раціональної технології виймки силосу є одним із ключових факторів збереження його поживної цінності. Саме на цій стадії спостерігаються найбільші втрати кормів. Тому силос необхідно вибирати

швидкими темпами, не допускаючи відновлення аеробних процесів. На практиці застосовують нормативи виймання: у зимовий період – близько 10 см фронту траншеї на добу, у літній – до 20 см. Ці показники необхідно враховувати ще на етапі проектування силососховищ.

Для запобігання погіршенню якості корму порцію силосу, необхідну для одного згодовування, слід відокремлювати рівним шаром від основного моноліту. Навіть якщо це обсяг корму лише на одну добу, він не встигає зазнати значного псування.

Аналіз конструктивно-технологічних особливостей машин для вивантаження консервованих кормів свідчить, що відокремлення силосної маси від моноліту може здійснюватися різними способами, зокрема шляхом відриву, фрезерування або згрібання. На більшості сучасних тваринницьких ферм України для механізованого виймання силосу та сінажу переважно використовують грейферні та фронтальні навантажувачі, які фактично є основними засобами виконання цієї операції. Найпоширенішими серед них є навантажувачі типу ПГ-0,2А, ПГ-0,5Д, екскаватори-навантажувачі ПЭ-0,8, ПЭ-08Б, ПЭА-1,0, а також фронтальні навантажувачі ПФ-05 і ПКУ-0,8. Принцип їх роботи базується на відокремленні порцій корму способом відриву [1].

Зазначені машини характеризуються достатньо високою продуктивністю, універсальністю та маневреністю, однак вони не повною мірою відповідають зоотехнічним вимогам до вивантаження силосованих кормів. Згідно з цими вимогами, після дії робочого органа поверхня кормового моноліту повинна залишатися рівною та ущільненою. Унаслідок розпушування поверхневого шару в корм проникає повітря, що спричиняє інтенсивне окислення силосу і сінажу. Це призводить до втрат поживності на рівні 8–13 %, сухої речовини – до 30 %, каротину – 40–60 %, перетравного протеїну – 6–8 %, а також до збільшення вмісту аміаку в 2,5–3 рази [2–4].

Таким чином, використання універсальних грейферних і фронтальних навантажувачів із серійними робочими органами на операції виймання консервованих кормів не можна вважати ефективним і доцільним, а їх застосування є, по суті, вимушеним заходом.

На основі проведеного аналізу базової технології вирощування кукурудзи на силос визначено основний напрям її вдосконалення, який полягає у заміні способу відокремлення порцій корму методом відриву на більш прогресивну технологію безперервного фрезерного

2.3 Огляд машин та устаткування для навантаження силосу й грубих кормів

У процесі розв'язання проблеми механізації навантаження силосу й грубих кормів в Україні та за кордоном було створено значну кількість машин і різноманітного устаткування. З метою аналізу наявних технічних засобів проведено їх класифікацію за основними видами та типами робочих органів.

За функціональним призначенням усі машини поділяються на чотири основні класи:

- 1 – різаки;
- 2 – подрібнювачі;
- 3 – навантажувальні машини загального призначення;
- 4 – спеціальні навантажувачі силосу.

До першого класу – різаків – належать різаки силосу та скирдорізи. Вони призначені для відокремлення частин буртів силосу або скирт соломи з подальшим їх завантаженням у транспортні засоби. Використання таких машин дало змогу значно підвищити продуктивність праці під час виконання цієї операції. Разом з тим часткова механізація процесу навантаження не забезпечувала достатньої ефективності їх застосування, унаслідок чого різаки не набули широкого поширення на тваринницьких фермах.

Для забору кормів із силосних траншей низка зарубіжних фірм (Kuhn, Tanco, Strautmänn, Polmot Opalenica) виготовляє навантажувачі (рис. 2.1), робота яких базується на принципі відрізання або «відкушування» окремого об'єму матеріалу від моноліту. Проте для здійснення навантаження таким машинам необхідно безпосередньо під'їжджати до траншеї, підводити вила під заданий об'єм корму, після чого відрізати його та подавати в кузов або бункер. Недоліком є те, що корм надходить у кузов суцільним монолітом, що може спричинити пошкодження машини [2, 3].



Рис. 2.1 Рухомі відокремлювачі-навантажувачі

Другий клас – подрібнювачі – охоплює соломосилосорізки різних конструкцій та подрібнювачі грубих кормів і силосу. Ці машини забезпечують механізацію подрібнювання та навантаження стеблових кормів у транспортні засоби. Водночас, попри високу якість подрібнення, неповна механізація

процесу навантаження зумовлює необхідність додаткових трудових витрат і використання допоміжного обладнання. Зокрема, для подрібнювання й навантаження 1 т соломи за допомогою соломосилосорізки витрачається до 2–2,5 людино-годин.

До третього класу – навантажувальних машин загального призначення – належать стрілові крани, фронтальні, грейферні навантажувачі та транспортери. Стрілові крани й транспортери переважно застосовують для забору силосу з ям і завантаження його в транспортні засоби, тоді як грейферні навантажувачі – для роботи в траншеях. Найбільш універсальними та ефективними серед них є поворотні грейферні навантажувачі з виделковим ковшем, які забезпечують забір кормів із траншей і скірт глибиною та висотою понад 3,5 м і їх завантаження в транспортні засоби. Однак відсутність додаткового подрібнення обмежує ефективність використання цих машин лише тими видами силосу й грубих кормів, які не потребують подрібнення.

Технологія заготівлі силосу в поліетиленових рукавах передбачає застосування спеціалізованих машин, які забезпечують завантаження корму в транспортні засоби з мінімальним розпушуванням моноліту всередині рукава (рис. 2.2) [2, 3].



а



б

Рис. 2.2 Заготівля силосу у поліетиленових рукавах: а – навантажувач силосу; б – зберігання силосу у рукавах

Четвертий клас – спеціальні навантажувачі силосу – включає фрезерні, шнекові, ланцюгові та дисково-пилні навантажувачі. Вони призначені для комплексної механізації процесів забору, розпушування, додаткового подрібнення силосної маси та її навантаження в транспортні або кормороздавальні засоби. Окремі моделі фрезерних навантажувачів, окрім силосу, можуть ефективно працювати й з грубими кормами.

Проведений аналіз показує, що навантаження комбінованого силосу й грубих кормів без подрібнення найефективніше здійснюється грейферними навантажувачами, тоді як у разі потреби подрібнення найбільш повно технологічним вимогам відповідають спеціальні навантажувачі фрезерного типу. У більшості випадків вони виконані у вигляді навісного обладнання для колісних тракторів, рідше – встановлюються на автомобільному шасі або мають власну ходову частину [2, 3].

З'єднання робочого органа з рамою навантажувача переважно здійснюється за маятниковою схемою, при якій подача фрезерного барабана відбувається по дузі кола. Вертикальна подача по щоглі трапляється значно рідше, а конструкції з використанням горизонтальних і вертикальних рам перебувають на стадії проєктних пропозицій. Перевагою маяткової схеми є компактність та простота конструкції робочого органа і приводних механізмів.

Транспортувальні робочі органи навантажувачів найчастіше реалізуються за принципом викидання матеріалу з використанням поворотного дефлектора. Стрічкові та скребкові транспортери застосовуються рідше. У навантажувачі ФН-1,2 використано пневматичний транспортер з вентилятором. Переважне застосування кидалок і пневмотранспортерів пояснюється їх компактністю, надійністю та можливістю зміни напрямку вивантаження в межах 360°. Підвищені енергетичні витрати компенсуються надлишковою потужністю тракторних двигунів.

Фуражир начіпний ФН-1,4 використовується для відокремлення від скирти грубих кормів, їх подрібнювання і навантаження у транспортні засоби. Агрегатують із тракторами МТЗ-80/82, ЮМЗ-6Л або ДТ-75[2, 3].

Фуражир складається з подрібнювального апарата (рис. 2.3), всмоктувального трубопроводу 2, вентилятора 3, дефлектора 4, контрприводу і гідросистеми[2, 3].

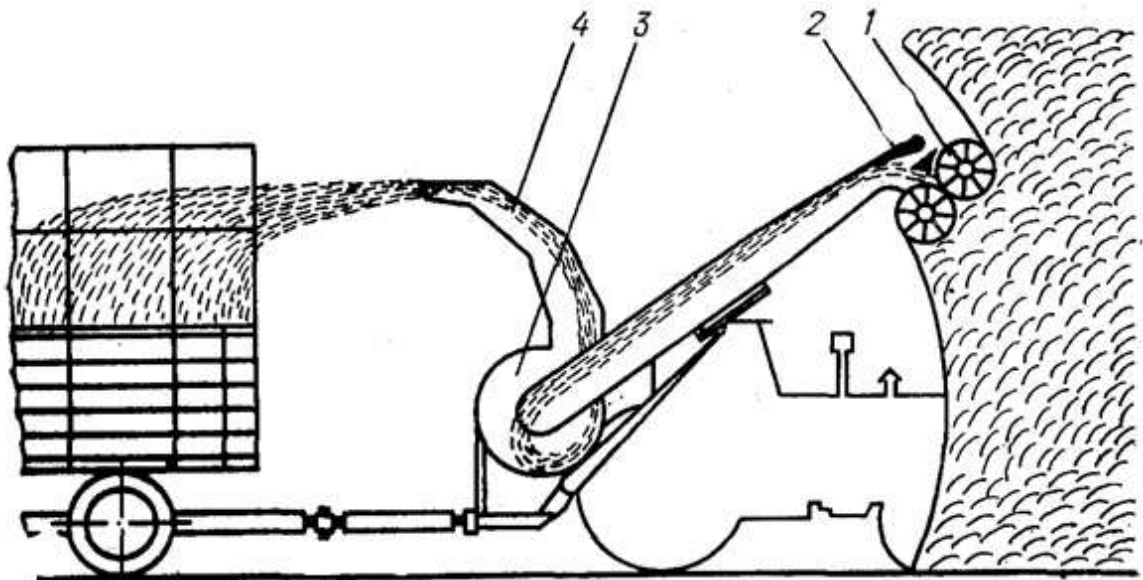


Рис. 2.3 Конструктивно-функціональна схема фуражира ФН-1,4:

1 – ротаційні робочі органи; 2 – всмоктувальний кормопровід; 3 – вентилятор; 4 – дефлектор.

Подрібнювальний апарат має корпус, два подрібнювальних барабани, натяжний пристрій приводного паса і захисний кожух. Барабани відрізняються діаметром шнеків. У натяжному пристрої приводного паса переднього подрібнювального барабана є шків, двоплечий важіль і тяга, що взаємодіє з кронштейном корпуса подрібнювального апарата. Приводний пас натягується переміщенням гайок вздовж тяги. Механізм піднімання – це труба з привареним до неї важелем. На кінці важеля є кронштейни для кріплення двох роликів. До труби приварені дві пари кронштейнів для з'єднання механізму піднімання з рамою вентилятора і кронштейни для кріплення гідроциліндра. Вентилятор складається з корпуса, жорстко з'єданого з рамою, і чотирилопатевої крилатки. У нижній частині рами встановлений редуктор. Верхня частина дефлектора являє собою жолоб, нижня – квадратну трубу[2, 3].

Дефлектор кріпиться до фланця вихідного вікна корпусу вентилятора ВВП трактора з ведучим валом редуктора з'єднується за допомогою двошарнірної карданної передачі. Контрпривод має трубчастий корпус і кронштейн для встановлення на коліні пневмопроводу[2, 3].

До гідросистеми фуражира входять гідроциліндр, гідрорегулятор, трубопровід, дросель і гідроарматура.

Технологічний процес фуражира здійснюється внаслідок переміщення подрібнювального апарата з крайнього верхнього положення в нижнє. При цьому грубі корми відокремлюються від скирти, подрібнюються ротаційними робочими органами, всмоктуються вентилятором і подаються в транспортний засіб[2, 3].

Завантаження двигуна трактора регулюється глибиною врізання в скирту ротаційних робочих органів[2, 3].

Рівномірне розподілення подрібненої маси в транспортному засобі забезпечується підніманням та опусканням корпусу вентилятора за допомогою гідроциліндра[2, 3].

Навантажувач стеблових кормів ПСК-5А призначений для відокремлення грубих кормів від скирти, силосу, сінажу, зерно-стрижневої сумішки кукурудзи з траншей, доподрібнювання і навантажування цих кормів у транспортні засоби[2, 3].

Тип машини – начіпний. Агрегують із тракторами МТЗ-80/82 з уніфікованою кабіною і МТЗ-82В з поворотним сидінням та реверсивним керуванням. Привод робочих органів здійснюється від ВВП трактора[2, 3].

Навантажувач складається з рами (рис. 1.2), фрезерних барабанів **1**, стріли **2**, приймального ковша **3**, бульдозерноїлопати, вивантажувальної труби, розподільної коробки та гідросистеми[2, 3].

Корм відокремлюється фрезерними барабанами, встановленими на кінці стріли. Відрізана ножами маса спрямовується кожухом у приймальний ківш, де встановлено шнек з правою та лівою навивками стрічки. Шнек подає корм у

приймальне вікно вентилятора-кидалки, звідки вивантажувальною трубою спрямовується в транспортні засоби[2, 3].

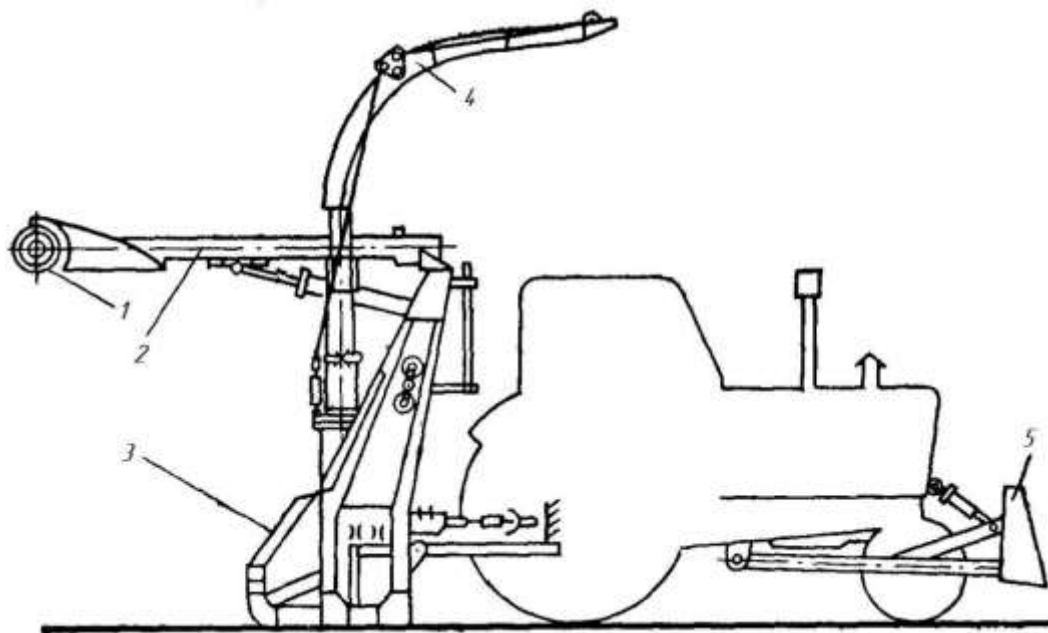


Рис. 2.4 Технологічна схема навантажувача стеблових кормів ПСК-5: 1 – фрезерний барабан; 2 – стріла; 3 – приймальний ківш; 4 – вивантажувальна труба; 5 – бульдозерна лопата[2, 3].

За допомогою гідросистеми здійснюється піднімання стріли, повертання вивантажувальної труби, зміна кута нахилу відбивного козирка та керування бульдозерною лопатою. Опускається стріла під дією власної ваги. Швидкість опускання змінюється дроселем-регулятором. Фрезерні барабани приводяться в рух за допомогою двох конічних редукторів, з'єднаних між собою проміжним валом. Верхній редуктор приводиться в дію клинопасовою передачею від розподільної коробки, яка передає обертання від ВВП трактора на вентилятор і фрезерні барабани[2, 3].

Бульдозерна лопата підгрибає залишки корму після навантажування.

У транспортному положенні вивантажувальна труба складається, що зменшує висоту навантажувача.

Як різальні елементи фрезерних барабанів застосовують загострені стрілчасті, вигнуті Г-подібні та плоскі сегментні або шаблеподібні ножі з ковзним різанням, а також дискові пилки. Різноманітність конструкцій різальних

елементів зумовлена недостатнім науковим обґрунтуванням їх енергетичних і якісних показників [2, 3].

Технологічний процес навантаження силосу й грубих кормів фрезерними навантажувачами здійснюється циклічно. Трактор з навісним обладнанням під'їжджає до бурту силосу або скирти соломи так, щоб фрезерний барабан врізався в торець на задану глибину. Після ввімкнення обертання та опускання барабана відбувається зрізання стружки з масиву, яка під дією сил різання відкидається в приймальний лоток транспортуючого механізму. Після зрізання шару заданої товщини робочий орган повертається у вихідне положення, а агрегат переміщується для обробки наступної ділянки[2, 3].

Таблиця 2.1

Технічна характеристика навантажувачів[2, 3]

Показники	ПС-Ф-5	ФН-1,4	ПСК-5
Продуктивність, т/год на: силосі, зерно-стрижневій суміщі кукурудзи, грубих кормах	– 2–4	– 7	16 3
Ширина фрезерування корму, м	1,10	1,23	1,20
Висота збирання корму, м	4,25	5,20	5,00
Висота навантажування корму, м	–	–	4
Габаритні розміри, мм:	6050×3360× ×6600	5710×3300× ×3900	8000×240× ×4500
Маса, кг	1400	938	1450

Аналіз технічних характеристик фрезерних навантажувачів свідчить про значні коливання параметрів робочих органів і режимів фрезерування. Так, діаметр фрезерного барабана змінюється від 260 до 960 мм, довжина – від 400 до 1580 мм, частота обертання – від 60 до 1240 хв⁻¹. Швидкість фрезерування становить 2,89–32,4 м/с, а швидкість подачі – 0,6–7,6 м/хв.

Такий широкий діапазон параметрів пояснюється, насамперед, відсутністю достатніх теоретичних і експериментальних обґрунтувань оптимальних режимів роботи та конструктивних характеристик фрезерних навантажувачів.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для підвищення техніко-економічних показників, уніфікації та універсалізації фрезерних навантажувачів необхідно здійснити комплекс теоретичних і експериментальних досліджень з метою обґрунтування оптимальних параметрів робочих органів і режимів фрезерування стеблових матеріалів.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Теоретичний аналіз руху ножів фрези

В процесі роботи ножі фрези здійснюють обертальний та поступальний рух. Траєкторія руху кожної точки ножа фрези залежить від величини окружної та поступальної швидкостей [5, 6].

У фрез з горизонтальною віссю обертання траєкторія руху ножів представляє собою витягнуту циклоїду (трохоїду). Траєкторія руху двох послідовно працюючих ножів і напрямом обертання фрези визначаються розміри і форма стружки, яка знімається. При зрізанні стружки зверху вниз, переріз її зменшується від максимального до нуля [5, 6].

Для визначення основних параметрів траєкторії складають рівняння трохойди.

Швидкість будь-якої точки лопаті фрезерного робочого органу являє собою суму колової V_k швидкості та швидкості подачі V_n (рис. 3.1, а). Проекції швидкостей точки на осі координат можна виразити параметричними рівняннями [5, 6]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V_k \cos \alpha + V_n \\ \frac{dy}{dt} &= V_k \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де α – кут обертання точки лопаті фрезерного робочого органу (рис. 3.1, б),

$$\alpha = \omega t_T \quad (3.2)$$

$$V_k = \frac{\omega D_r}{2}, \quad (3.3)$$

де ω – кутова швидкість лопаті фрезерного робочого органу, рад./с;

t_m – час обертання точки, с.

V_k - колова швидкість на кінцях ріжучих елементів, м/с

D_2 – діаметр гвинта, м.

Після підстановки значень α та ω до виразу (3.80) отримаємо[5, 6]

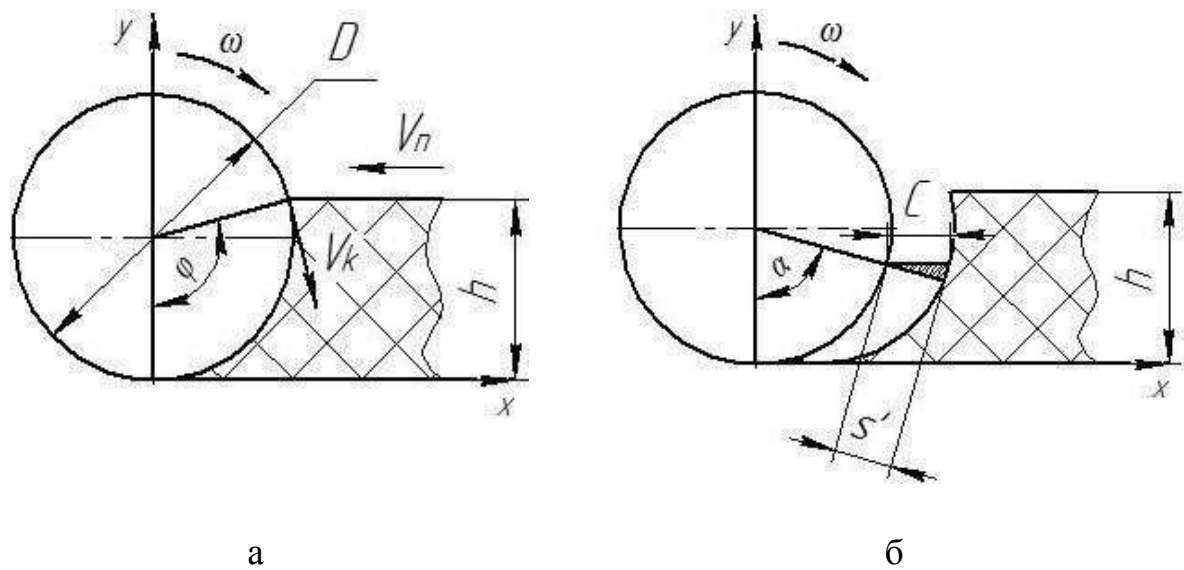


Рис. 3.1 – Схема до визначення перетину стружки: а – визначення кута входу робочого органу до рослинної сировини; б – визначення перетину та товщини стружки.

$$\left. \begin{aligned} dx &= \left(\frac{\omega D}{2} \cos \omega t + V_n \right) dt; \\ dy &= \frac{\omega D}{2} \sin \omega t dt. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Проінтегрувавши вираз (3.4), знайдемо рівняння траєкторії руху точки лопаті фрезерного робочого органу[5, 6]

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\omega D}{2} \int \cos \omega t dt + V_n \int dt = \frac{D}{2} \sin \omega t + V_n t + C; \\ y &= \frac{\omega D}{2} \int \sin \omega t dt = -\frac{D}{2} \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

В іншому вигляді можна переписати як

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \omega t + V_n t + C; \\ y &= -R \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Постійні інтегрування C та C_l можна визначити, підставивши до цих рівнянь значення початкових умов, а саме $t = 0$, $x = 0$, $y = 0$. При цих умовах $C = 0$ та $C_l = R$. Тоді рівняння (3.5) приймуть вигляд [5, 6]

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \omega t + V_n t; \\ y &= R(1 - \cos \omega t). \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Для визначення продуктивності роботи фрезерного робочого органу також важливо значення перетину стружки, що зрізується одним робочим елементом, тобто лопаттю у відповідний момент часу [5, 6]

$$F = b_l s', \quad (3.8)$$

де b_l – ширина захвату однієї лопаті, м;

s' – товщина стружки у положенні лопаті, що досліджується, м.

Для визначення товщини стружки s' можна використати схему, зображену на рисунку 3.1, б, а саме

$$s' = C_l \cdot \sin \alpha, \quad (3.9)$$

де C_l – подача на одну лопать, м.

В разі представлення витка гвинта у вигляді окремих елементарних фрагментів - лопатей розміщених під деяким кутом (кут нахилу гвинтової лінії) та розміщених вздовж гвинтової лінії – ми зможемо визначити подачу рослинної сировини на один елементарний фрагмент (лопать) [5, 6]

$$C = \frac{\pi D}{\lambda z_e}, \quad (3.10)$$

де z_e – кількість ріжучих елементів у площині різання, шт.;

λ – показник кінематичного режиму роботи фрезерного робочого органу.

Визначивши колову швидкість на кінцях ріжучих елементів стає можливим визначення показника кінематичного режиму роботи [5, 6]

$$\lambda = \frac{V_k}{V_n}, \quad (3.11)$$

де V_n – швидкість подачі рослинної сировини, м/с.

Підставивши усі значення, отримаємо повний вираз для розрахунку перетину стружки

$$F = b \frac{\pi D V_{II}}{V_k Z} \sin \alpha \quad (3.12)$$

Приймаючи до уваги той факт, що у роботі одночасно приймають участь декілька лопатей, що знаходяться під різними кутами, необхідно визначити сумарний перетин стружки, що знімається робочим органом[5, 6]

$$F_{\text{сум}} = b i \frac{\pi D V_{II}}{V_k Z} \sum_1^i \sin \alpha_i \quad (3.13)$$

де i – кількість одночасно працюючих лопатей.

В середньому за один цикл кількість одночасно працюючих лопатей можна розрахувати за виразом[5, 6]

$$i = \frac{\varphi_k n_n}{360} \quad (3.14)$$

де φ_k – кут контакту робочого органу з рослинною сировиною;

n_n – кількість заходів гвинтової наливки (для нашого випадку).

Визначити кут контакту робочого органу з рослинною сировиною φ при подачі з боку можна за допомогою виразу

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2h_{ш}}{D_r}\right) \quad (3.15)$$

де $h_{ш}$ – висота шару маси, що подається до ущільнювача (глибина фрезерування), м.

Таким чином, нами обґрунтований математичний апарат визначення основних параметрів, що описують процес відокремлення рослинної сировини ротаційними робочими органами. Визначивши наведені параметри, можна переходити до визначення техніко–економічних показників, таких як продуктивність, зусилля та потужність відокремлення рослинної сировини.

3.2 Визначення параметрів та режиму роботи фрезбарабана

Частоту обертання барабана визначаємо з урахуванням необхідної продуктивності машини, виконання вимог технологічного процесу різання та забезпечення нормативної, встановленої агрозоотехнічними вимогами, довжини подрібнення корму.

Розрахунок частоти обертання фрезерного барабана здійснюємо виходячи з умови досягнення заданої продуктивності, $Q = 10,2$ т/год.

Продуктивність на відборі силосу визначаємо за формулою[5, 6]

$$Q = 3,6B \cdot a \cdot \vartheta_c \cdot \gamma_c,$$

де B – ширина захвату фрезбарабана, м, ($B=1,4$ м);

a – глибина зони обробки, м, (при заборі силосу $a=0,15 \div 0,17$ м);

ϑ_c – швидкість опускання стріли, м/с;

γ_c – об'ємна маса кукурудзяного силосу, кг/м^3 , (для не утрамбованого силосу $\gamma_c = 300 - 350$ кг/м^3).

Швидкість опускання стріли[5, 6]

$$\vartheta_c = \frac{Q}{3,6 \cdot B \cdot a \cdot \delta_c} = \frac{10,2}{3,6 \cdot 1,4 \cdot 0,15 \cdot 300} = 0,045 \text{ м/с} = 2,7 \text{ м/хв.}$$

Об'єм силосу, відібрано за час одного опускання стріли, складає[5, 6]

$$V = B \cdot a \cdot L,$$

де L – довжина дуги кола, м;

$$L = (R_c + R_6) \cdot \varphi,$$

де φ – кут повороту барабана, рад.;

R_c – радіус стріли фрезбарабана, м;

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{H}{2(R_c + R_6)}.$$

Висота бурту силосу $H=4,35$ м;

Виліт стріли (радіус стріли) $R_c=2,5$ м;

Радіус фрезбарабана: $R_6=0,263$ м.

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{4,35}{2 \cdot (2,5 + 0,263)} = 0,787.$$

$$\frac{\varphi}{2} = 51,92^\circ; \varphi = 103,84^\circ = 1,81 \text{ рад};$$

$$L = (2,5 + 0,263) \cdot 1,81 = 5,0 \text{ м};$$

$$V = 1,4 \cdot 0,15 \cdot 5 = 1,05 \text{ м}^3.$$

Для завантаження автомобіля чи причепа з місткістю кузова 3 м³ потрібно здійснити 3 технологічні операції. Для цього необхідно здійснити переміщення навантажувача вперед на 15 см. Час на переміщення навантажувача складе[5, 6]

$$t_n = \frac{1}{\vartheta_{tp}} = \frac{0,15}{1,0} = 0,15 \text{ с.}$$

тут $\vartheta_{tp} = 3,6 \text{ км/год} = 1,0 \text{ м/с}$ – швидкість переміщення трактора заднім ходом.

Час опускання стріли за одну операцію складе

$$t_c = \frac{H}{\vartheta_c} = \frac{4,35}{0,045} = 97 \text{ с.}$$

З огляду на необхідність періодичного переміщення навантажувача у напрямку бурта, з метою забезпечення заданого рівня продуктивності приймаємо

$$\vartheta_c = 6 \text{ м/хв.} = 0,1 \text{ м/с.}$$

Визначаємо частоту обертання фрезбарабана.

Об'єм силосу, який виймаємо за 1 секунду опускання стріли[5, 6]

$$V'_c = V_c \cdot a \cdot B.$$

Об'єм силосу, який забираємо фрезбарабаном за 1 оберт[5, 6]

$$V_\phi = R_\phi \cdot \alpha_k \cdot S \cdot B;$$

$$\alpha_k = \arccos\left(1 - \frac{\alpha}{R_\phi}\right) = \arccos\left(1 - \frac{0,15}{0,263}\right) = 64,55^\circ = 1,126 \text{ рад};$$

S – товщина стружки.

Мінімально допустиме число обертів фрезбарабана за секунду[5, 6]:

$$n_{\delta} = \frac{V'_c}{V_{\phi}} = \frac{V_c \cdot a \cdot B}{R_{\delta} \alpha_{\kappa} \cdot S \cdot B} = \frac{\vartheta_c \cdot a}{R_{\delta} \cdot \alpha_{\kappa} \cdot S};$$

$$n_{\delta} = \frac{0,1 \cdot 0,15}{0,263 \cdot 1,126 \cdot 0,01} = 5,05 \text{ об/с.}$$

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Призначення, будова та процес роботи навантажувача ПСК-5

[7]

Навантажувач стебельчастих кормів ПСК-5 призначений для вивантаження силосу і грубих кормів з відкритих сховищ, траншей, скирт з одночасним додатковим подрібненням і навантаженням кормів в кормороздавачі та інші транспортні засоби[7].

Бульдозер ПСК-5.004.00, який навішують на трактор, призначений для підгрібання залишків силосу чи соломи після навантаження.

Технічна характеристика зведена в табл. 4.1

Таблиця 4.1

Технічна характеристика ПСК-5[7]

№ п/п	Найменування показника	Значення показника
1	Тип	навісна
2	Агрегується з трактором	МТЗ 50/52; ЮМЗ-6,0
3	Продуктивність за годину чистого часу, т на кукурудзяному силосі після силосозбирального комбайна на трав'яному силосі на соломі	до 16 до 6 до 3,26
4	Максимальна висота забору маси, мм	4500
5	Максимальна висота завантаження, мм	3500
6	Габаритні розміри, мм ширина (по ширині бульдозера) висота (з піднятою вітряною трубою і опущеною стрілою) довжина (в агрегаті з трактором)	2000 3700 8000
7	Маса, кг, не більше	1450
8	Ширина захвату фрезбарабана, мм	1200±10
9	Дорожній просвіт, мм, не менше	350

Продовження табл. 4.1

1	2	3
10	Питомі витрати палива, $\text{кг} \cdot \text{т}^{-1}$, год не більше на навантаженні та подрібненні кукурудзяного силосу на навантаженні і подрібненні трав'яного силосу і сінажу	0,86 2,3
11	Затрати праці чол. · год/т, не більше: на навантаженні і подрібненні кукурудзяного силосу на навантаженні й подрібненні трав'яного силосу і сінажу	0,06 0,16
12	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1(тракторист)
13	Рівень механізації виконання технологічного процесу, %	100
14	Число виконуваних технологічних операцій одночасно	3
15	Транспортна швидкість, км/год, не більше	8

Навантажувач ПСК-5 складається з наступних основних вузлів: рами, стріли з фрезбарабанами, приводу фрезбарабанів, коробки розподільної, труби вивантажувальної, гідросистеми, шарнірної передачі, шнека, вентилятора-кидалки, бульдозера[7].

Фрезерування маси здійснюється фрезбарабаном, встановленим на кінці плаваючої стрілки. Підйом стріли відбувається за допомогою гідроциліндра, опускання – під дією власної ваги. Відрізана ножами маса, направляється лопатками по направляючому щитку в приймальний ківш навантажувача. В приймальному ковші встановлені шнек з лівою і правою навивкою. Шнек закидає масу в приймальне вікно вентилятора-кидалки,

звідки по вивантажувальній трубі маса направляється в транспортний засіб. Керування підйомом і опускання стріли і бульдозера, поворотом вивантажувальної труби і нахилом відбивного козирка гідрофіковано і проводиться з кабіни трактора[7].

Для регулювання швидкості опускання стріли служить дросель-регулятор. Швидкість опускання стріли регулюється в межах від 2 до 6 м/хв. [7]

Рама – основний несучий орган навантажувача. На ній монтуються всі вузли та механізми. Для навішування навантажувача на трактор в нижній частині рами є пальці, на які надівають задні і поздовжні тяги трактора, а в середній частині рами є кронштейн з отвором для пальця центральної тяги трактора[7].

Нижня частина рами утворює приймальний ківш, в якому встановлений шнек і вентилятор-кидалка. У верхній частині рами встановлена стріла. На стрілі встановлені фрезбарабани і механізм приводу фрезбарабанів[7].

Механізм приводу фрезбарабанів складається з двох конічних редукторів, з'єднаних проміжним валом при допомозі шарнірів.

Привід до верхнього редуктора здійснюється від розподільної коробки при допомозі пасової передачі[7].

Привід фрезбарабанів має два вихідних вали, на яких встановлені фрезбарабани[7].

Фрезбарабани призначені для зрізання маси від бурту і направлення її в приймальний ківш навантажувача. Зрізання маси здійснюється ножами, а кидання – лопатками, встановленими за ножами. Ножі розташовані по гвинтовій лінії. На торцях фрезбарабанів встановлені підрізні ножі[7].

На передній частині стріли над фрезбарабанами встановлений щиток, який служить для направлення фрезерованої маси в приймальний ківш навантажувача[7].

В транспортному положенні стріла фіксується на рамі за допомогою спеціального пальця та швидкоз'ємного шплінта[7].

Для проведених профілактичних та ремонтних робіт в передній частині навантажувача стріла встановлюється на упор, який закріплений на кронштейні гідроциліндра під'йому стріли. [7].

Коробка розподільна призначена для обертання від валу відбору потужності трактора на всі робочі органи. Коробка має два вихідних вали. На нижньому валу змонтований вентилятор-кидалка і запобіжна муфта. На верхньому вихідному валу встановлений шків для передачі обертання на фрезбарабан[7].

Вивантажувальна труба служить для направлення потоку зфрезерованої маси в транспортні засоби. Верхня частина вивантажувальної труби – хобот має можливість повертатись на кут 160° . Поворот хобота здійснюється за допомогою гідроциліндра[7].

Керування поворотом здійснюється з кабіни трактора. Хобот закінчується відбивним козирком. Керування нахилом відбивного козирка виконується з кабіни при допомозі гідроциліндра[7].

В транспортному положенні вивантажувальна труба складається, що зменшує висоту навантажувача. Хобот в транспортному положенні фіксується пальцями і швидкоз'ємним шплінтом[7].

В нижній частині вивантажувальної труби є вікно, закрите кришкою, яке служить для огляду і очистки вивантажувальної труби при забиванні її кормом[7].

Шнек має двосторонню навивку (праву і ліву). Витки шнека мають зубці, за допомогою яких шнек може краще проводити підбір силосу чи сінажу з землі[7].

Вентилятор-кидалка встановлений на обгінній муфті на нижньому валу коробки розподільної. Установка вентилятора на обгінній муфті знижує навантаження на ВВП трактора при раптових зупинках і при різкому зниженні обертів ВВП[7].

Бульдозер, що навішується попереду трактора, призначений для підгрібання залишків корму після навантаження, для підчистки дна траншеї.

В транспортному положенні бульдозер фіксується на передньому брусіві трактора спеціальним крюком.

Навантажувач ПСК-5 оснащений гідросистемою, за допомогою якої виконуються такі операції:

- підйом і опускання стріли з фрезбарабанами;
- регулювання швидкості опускання стріли;
- підйом і опускання бульдозерна;
- поворот хобота вивантажувальної труби;
- регулювання положення відбивного козирка;
- перевід хобота з транспортного положення в робоче і назад;
- гідросистема навантажувача підключиться до гідросистеми трактора і керується тракторним гідроциліндром.

Гідросистема навантажувача складається з гідроциліндрів Ц₁...Ц₅, кранів дроселя-регулятора і масляних магістралей.

Гідроциліндр стріли Ц₃ і гідроциліндри бульдозера Ц₁ і Ц₂ підключені до правих бокових виводів трактора. На магістралі, яка підводить масло до гідроциліндра стріли, встановлений дросель-регулятор, який служить для регулювання швидкості і опускання стріли. Принцип дії дроселя-регулятора базується на гальмуванні рідини, що рухається в щільних каналах між штоком і корпусом. При обертання штоку змінюється переріз щілинних каналів, що й приводить до зміни швидкості проходження масла, а значить до плавної зміни швидкості опускання стріли. Рукоятка дроселем-регулятором введена до кабіни трактора з правого (по ходу) боку через круглий отвір в підлозі кабіни.

На масляній магістралі, яка йде від верхнього правого вивиху, встановлений кран і перемикач, що має один вхідний отвір і два вихідники. Один вхідний отвір сполучено з вводом дроселя-регулятора, а другий з

магістраллю, яка йде до безштокової порожнини гідроциліндрів бульдозера. Штокова порожнина гідроциліндрів бульдозера підключається напряму до нижнього правого виводу трактора.

Кран-перемикач служить для направлення потоку масла або до гідроциліндру стріли Ц₃ (через дросель-регулятор), або до гідроциліндрів бульдозера. Оскільки фрезерування маси і роботи бульдозера не відбувається одночасно, установка крана-перемикача дозволяє використовувати бокові виводи трактора для двох робочих процесів.

Гідроциліндр повороту хобота Ц₄ підключений до задніх виводів гідросистеми трактора (які зблоковані з першими боковими виводами). Гідроциліндр Ц₅ служить для регулювання положення направляючого корпусу і для переводу хобота вивантажувальної труби з транспортного положення в робоче і назад.

Гідроциліндр Ц₅ підключений паралельно основному гідроциліндру трактора. На магістралі, яка веде в безштокову порожнину циліндра Ц₅ служить для відключення гідроциліндра Ц₅ при транспортуванні навантажувача.

4.2. Обґрунтування змін, які пропонуються внести до конструкції навантажувача стебельчастих кормів ПСК-5

Аналіз літератури та проколів державних випробувань навантажувача стебельчастих кормів ПСК-5 свідчить, що поряд з позитивними характеристика (відповідність зоотехнічним вимогам за якістю відбору та подрібнення силосу, сінажу та соломи) він має недоліки, одним з яких є велика маса барабана.

Для усунення відміченого недоліку змінено конструкцію барабана.

4.3. Кінематичний розрахунок

Кінематичний розрахунок проводимо з метою визначення необхідного передаточного числа приводу на вал фрезбарабана для забезпечення його необхідної кутової швидкості, що була визначена раніш ($\omega=1,08 \text{ c}^{-1}$).

Визначаємо необхідне загальне відношення приводу згідно [8]

$$U = \frac{n_{\text{ВВП}}}{n_6}, \quad (4.10)$$

$$U = \frac{1000}{621} = 1,61.$$

Розбиваємо дане передаточне число на ступені і визначаємо необхідні передаточні числа елементів приводу[8]:

$$U = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 \cdot U_4 \quad (4.11)$$

Приймаємо для зубчатої передачі $Z_1 = Z_2 = 24$. Тоді [8]

$$U_1 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{24}{24} = 1.$$

Частота обертання валів II та VIII:

$$n_2 = n_8 = \frac{n_{\text{ВВП}}}{U_1} = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ хв.}$$

Для клинопасової передачі приймаємо[8]:

$$U_2 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{315}{315} = 1,0,$$

де $D_1 = D_2 = 315$ мм – діаметр відповідно ведучого і веденого шківів.

Частота обертання вала III:

$$n_3 = \frac{n_2}{U_2} = \frac{1000}{1,0} = 1000 \text{ об/хв.}$$

Передаточне число зубчатої передачі від валу III до валу IV при $Z_5 = 29$ та $Z_6 = 18$:

$$U_3 = \frac{Z_5}{Z_6} = \frac{29}{18} = 1,61.$$

Частота обертання валів IV, IV і VI:

$$n_4 = n_5 = n_6 = \frac{n_3}{U_3} = \frac{1000}{1,61} = 621 \text{ об/хв.}$$

Передаточне число зубчатої передачі від валу VI до валу VII при $Z_7 = Z_8 = 24$.

$$U_4 = \frac{Z_8}{Z_7} = \frac{24}{24} = 1,0.$$

Частота обертання вала VII (фрезбарабана) [8]:

$$n_7 = \frac{n_6}{U_4} = \frac{621}{1,0} = 621 \text{ об/хв.}$$

Підставляємо отримані значення в формулу (4.11) і отримуємо[8]:

$$U = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,61 \cdot 1,0 = 1,61.$$

Це співпадає з значенням, отриманим з формули (4.10), а отже кінематичний розрахунок виконаний правильно[8].

Крім того, визначаємо передаточне число ланцюгової передачі від вала VIII до валу IX при $Z_9=15$ і $Z_{10}=56$:

$$U_5 = \frac{Z_{10}}{Z_9} = \frac{56}{15} = 3,73.$$

Частота обертання вала IX (шнека) [8]

$$n_9 = \frac{n_1}{U_5} = \frac{1000}{3,73} = 268 \text{ об/хв.}$$

Передаточне число зубчатої передачі від валу I до валу X (валу вентилятора) при $Z_3 = 27$, а $Z_4 = 23$ [8]

$$U_6 = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{23}{27} = 0,85.$$

Частота обертання вала X

$$n_{10} = \frac{n_1}{U_6} = \frac{1000}{0,85} = 1176 \text{ об/хв.}$$

4.4. Енергетичний розрахунок

Основна мета енергетичної оцінки с.-г. машин і агрегатів – визначення енергетичних затрат на роботу, яку виконує наша машина і її робочі органи і відповідності енергоємності останніх тяговим та потужнісним показникам енергетичного засобу при роботі в діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів, встановлених агротехнічними вимогами і технічними завданнями. Розподіл потужності для привода окремих робочих органів було встановлено на УкрЦВТ при випробуваннях навантажувача ПСК-5 [6]

на привод фрезбарбанів	75-80%
на привод вентилятора	до 20%
на привода шнека	до 10%.

При розрахунках на міцність деталей і вузлів навантажувача приймаємо наступний розподіл потужності для привода окремих робочих органів 3 [8]:

для приводу фрезбарбанів

$$N_{\phi} = 0,8 \cdot N_{\text{ВВП}} \text{ (згідно [6]);}$$

$$N_{\phi} = 0,8 \cdot 43,5 = 34,8 \text{ кВт;}$$

для привода вентилятора

$$N_{\epsilon} = 0,2 \cdot N_{\text{ВВП}} = 0,2 \cdot 43,5 = 8,7 \text{ кВт;}$$

для привода шнека

$$N_{\text{ш}} = 0,1 \cdot N_{\text{ВВП}} = 0,1 \cdot 43,5 = 4,35 \text{ кВт.}$$

При наявності в агрегаті крутного моменту, який передається через вал відбору потужності, цей вид опору може бути зведений до сили на гаку транспортера, використовуючи правила механіки.

Згідно рис. 4.1 можемо записати рівняння ($M=F \cdot R$)

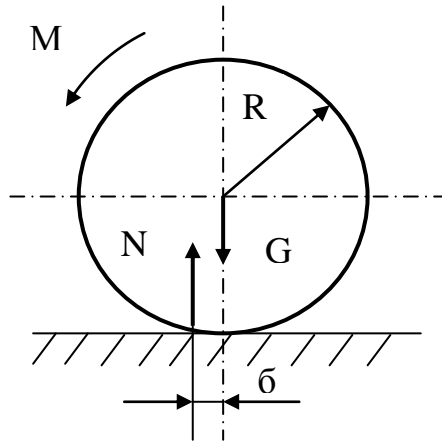


Рис. 4.1. Схема розподілу сил, що діють на задні колеса трактора.

$$F \cdot R - N \cdot \delta = 0, \quad (4.19)$$

де F – сила тяги трактора;

R – радіус заднього колеса ($R=0,8$ м);

N – сила реакції ґрунту.

Тоді з формули (4.19) отримаємо:

$$F = \frac{N\delta}{R} = \frac{G \cdot \delta}{R}, \quad (4.20)$$

де G – сила тяжіння агрегату;

$$G = G_{\text{тр}} + G_{\text{маш}},$$

$G_{\text{тр}} = 36$ кН – сила тяжіння трактора;

$G_{\text{маш}} = 14,5$ кН – сила тяжіння навантажувача;

$$G = 36000 + 14500 = 50500 \text{ Н} = 50,5 \text{ кН}.$$

Підставляємо значення в формулу (4.20) [8]

$$F = \frac{50500 \cdot 0,01}{0,8} = 631,25 \text{ Н}.$$

Сумарний тяговий опір тягово-приводного агрегату розраховуємо по формулі[8]

$$P_T = P_{\text{ам}} + \frac{F}{K}, \quad (4.21)$$

де $P_{\text{ам}}$ - умовні витрати тягового зусилля трактора в результаті відбору потужності від двигуна, кН.

$$P_{ам} = 1,02 \frac{N_{a.m.}}{\vartheta_m}, \quad (4.22)$$

$$P_{ам} = 1,02 \frac{43,5}{8} = 5,55 \text{ кН},$$

$K=0,6-0,7$ – коефіцієнт використання тягового зусилля трактора

$$P_T = 5,55 + \frac{0,631}{0,6} = 5,6 \text{ кН}.$$

4.7. Розрахунки на міцність

4.7.1. Розрахунок клинопасової передачі

Вихідні дані

Міжосьова відстань	$a=1700 \text{ мм}$
Розрахунковий діаметр меншого шківa	$d_1=315 \text{ мм}$
Розрахунковий діаметр більшого шківa	$d_2=315 \text{ мм}$
Тип перерізу, довжина пасу, мм	$L_p \text{ U-4500Ш}$ ГОСТ 10286-75
Кількість пасів	$Z=3$

Потужність, що передається

$$N=34,8 \cdot 0,99 \cdot 0,96 \cdot 0,99=32,74 \text{ кВт}$$

Частота обертання ведучого шківa $\vartheta = \frac{nd_1 n}{60 \cdot 1000}$.

$$\vartheta = \frac{3,14 \cdot 315 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 16,49 \text{ м/с}.$$

Кут охоплення пасом меншого шківa

$$\alpha = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^\circ.$$

Розрахунок необхідної кількості пасів.

Необхідну кількість пасів в передачі визначаємо по формулі[8]:

$$Z_k = \frac{N \cdot C_p}{N_0 \cdot C_2 \cdot C_L \cdot C_z}.$$

де C_2 – коефіцієнт кута охоплення: $C_2=1,0$;

C_2 – коефіцієнт, що враховує довжину пасу: $C_2=1,0$;

C_p - коефіцієнт динамічності і режимі роботи: $C_p=1,15$;

C_z - коефіцієнт, що враховує кількість пасів в комплекті: $C_z=1,0$;

N_0 - номінальна потужність передачі з одним пасом:

$$N_0 = 11,51 \text{ кВт.}$$

Тоді

$$Z_k = \frac{32,74 \cdot 1,15}{11,51 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 3,27.$$

Порівняння прийнятого числа пасів з необхідним

$$Z = 3 < Z_k = 3,27.$$

Прийнята кількість пасів менша необхідної. Слід передбачити запасний комплект пасів.

4.7.2. Розрахунок підшипників натяжного пристрою клинопасової передачі

Натяг клинового пасу здійснюється натяжним пристроєм за допомогою пружини[8].

Робоче зусилля пружини $P_{пр} = 1,65 \text{ кН}$.

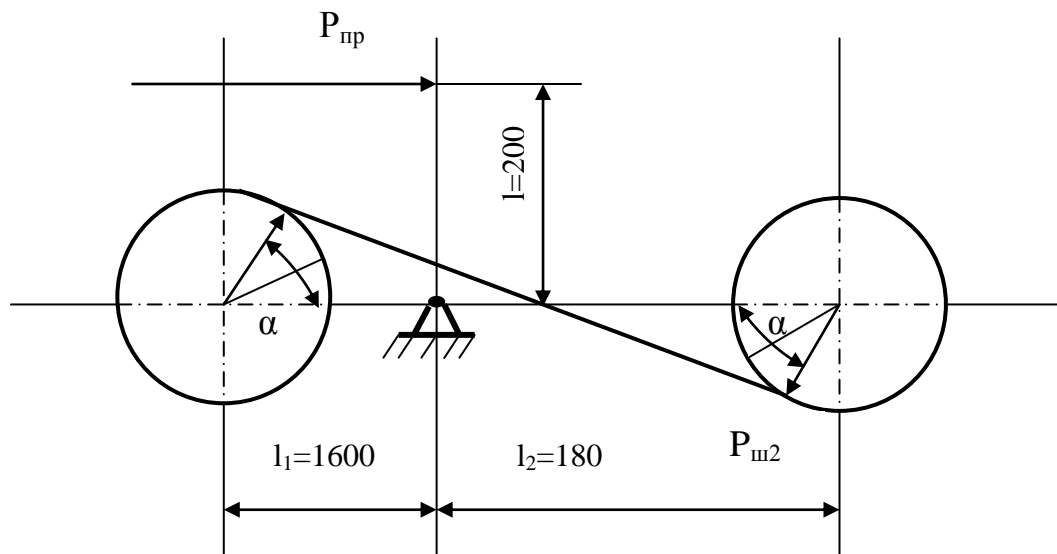


Рис. 4.2. Схема натяжного пристрою.

Від пасу, який ми натягуємо, на шківів діють зусилля $P_{ш_1}$ та $P_{ш_2}$, які визначаємо з умови:

$$\begin{cases} P_{пр} \cdot l = P_{ш_1} \cdot l_1 \cdot \sin \alpha + P_{ш_2} \cdot l_2 \sin \alpha \\ \frac{P_{ш_1}}{P_{ш_2}} > \frac{l_2}{l_1} \end{cases} .$$

Розв'язок системи рівнянь дає результат

$$P_{ш_1} = P_{пр} \frac{l}{2l_1 \sin \alpha} = 165 \cdot \frac{200}{2 \cdot 160 \cdot 0,9063} = 1140 \text{ Н}.$$

$$P_{ш_2} = P_{пр} \frac{l}{2l_2 \sin \alpha} = 165 \cdot \frac{200}{2 \cdot 180 \cdot 0,9063} = 1110 \text{ Н}.$$

Частоту обертання шківів визначаємо, знаючи швидкість пасу:
 $v = 16,5 \text{ м/с}$,

$$n = \frac{60 \cdot 100v}{\pi D^2} = \frac{60 \cdot 100 \cdot 16,5}{3,14 \cdot 28,0} = 1126 \text{ об/хв}.$$

В кожному шківу встановлено по два підшипники 305. Вантажопідйомність зведеного шарикопідшипника визначається по формулі:

$$C_{сд} = C \cdot Z^{0,7} = 22500 \cdot 2^{0,7} = 36550 \text{ Н},$$

де $C=22500\text{Н}$ - вантажопідйомність одного шарикопідшипника 305;

$Z=2$ – число рядів шариків (у нашому випадку – шарикопідшипників).

4.7.3. Перевірочний розрахунок на довговічність підшипника натяжного пристрою

Позначення підшипника 305	ГОСТ 8338-75
Динамічна вантажопідйомність	$C=22500\text{Н}$
Статична вантажопідйомність	$C_0=11400 \text{ Н}$
Необхідна довговічність	$h=3150 \text{ годин}.$

Режим роботи

Кінематичний коефіцієнт $K_k=1,0$

Коефіцієнт безпеки	$K_6=1,3$
Температурний коефіцієнт	$K_T=1,0$
Осьове навантаження	$A=0$
Радіальне навантаження	$R=1140 \cdot 9,81=11180 \text{ Н}$
Число обертів вала	$n=1126 \text{ об/хв.}$

Визначення розрахункової довговічності

Приведене навантаження[8]

$$Q = (xK_k R + y_A) \cdot K_T \cdot K_6,$$

де x – коефіцієнт радіального навантаження, $x=1$ [8];

y – коефіцієнт осьового навантаження[8].

Тоді $Q = 1,0 \cdot 1180 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 14540 \text{ Н} = 14,54 \text{ кН.}$

Розрахункова довговічність підшипника[8]

$$h_p = \frac{10^6}{60 \cdot 1126} \cdot \left(\frac{22500}{14540} \right)^3 \cdot 0,7 = 3840 \text{ год.}$$

Порівняння розрахункової та необхідної довговічності[8]

$$h_p = 3840 > h = 3150.$$

Довговічність підшипників достатня.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути при експлуатації модернізованого навантажувача кормів

До небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час експлуатації навантажувача кормів відповідно до вимог ГОСТ 12.01.003, належать такі[10]:

- **Рухомі елементи машин і механізмів** – переміщення агрегату під час розворотів, переїздів, а також при переведенні машини у транспортне положення;
- **Обертальні робочі органи** – фрезерний барабан, його привод, карданна (шарнірна) передача, шнек та вентилятор;
- **Підвищений рівень шуму**, що виникає внаслідок роботи двигуна трактора та фрезерного барабана;
- **Посилена вібрація**, спричинена функціонуванням силового агрегату і робочих органів подрібнювача;
- **Підвищена запиленість повітря** в зоні робочого місця механізатора;
- **Шкідливі хімічні речовини**, зокрема паливно-мастильні матеріали (масло типу М-10Г2К та інші);
- **Пожежна безпека**, що може виникати через підтікання паливно-мастильних матеріалів на вузли та деталі машини, перегрівання елементів унаслідок тертя, коротке замикання в електричній системі, а також роботу двигуна під час навантаження соломи;
- **Електробезпека**, пов'язана з експлуатацією машини поблизу ліній електропередач або з накопиченням статичної електрики;
- **Розміщення робочого місця оператора на значній висоті**, що підвищує ризик травмування;
- **Невідповідність параметрів мікроклімату** санітарно-гігієнічним нормам;

- **Наявність нагрітих поверхонь**, таких як двигун і система водяного охолодження;
- **Виконання робіт за умов недостатнього природного освітлення.**

5.2 Розробка заходів по покращенню умов праці

5.2.1 Заходи по створенню нормальних і шкідливих санітарно-гігієнічних умов праці на модернізованому навантажувачі

Із приведеного аналізу небезпечних і шкідливих факторів в результаті експлуатації навантажувача можуть виникнути наступні нещасні випадки і аварії[10]:

- опіки під час ремонту системи охолодження двигуна;
- можливість виникнення пожежі;
- враження електричним струмом при роботі під лініями електропередач;
- можливість перевертання машини при роботі на великих схилах;
- поранення рук елементами огороження та іншими гострими частинами.

Для попередження можливих нещасних випадків і аварій на агрегаті проведені наступні заходи:

- небезпечні зони машини огорожені згідно ГОСТ 12.2.042.

Огороження забезпечені фіксаторами, і пристроями для їх закріплення у відкритому положенні, бокові і задні огороження закріплюються за допомогою пружинних заклепок.

Для попередження накопичення статичного струму передбачено ланцюг заземлення. Місце його кріплення позначене надписом “заземлення” згідно ГОСТ12.2.026.

Рівень шуму в кабіні машини 75 дБ при частоті коливань 1000 Гц, що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам ССБТ ГОСТ 12.1.003 і ГОСТ12.2.009. Для боротьби з шумом і вібрацією передбачені наступні заходи[8]:

- використані глушники шуму на вихлопній трубі трактора;
- сидіння тракториста забезпечено амортизатором;
- внутрішня поверхня кабіни оброблена пористими звукопоглинаючими матеріалами;
- для покриття полу кабіни використані килимки із вібропоглинаючого матеріалу, вони також служать ізоляторами в разі дії електричного струму при обриванні і падінні електропроводів на машину;
- для змащування деталей, які ударяються використані в'язкі мастила.

В кабіні трактора температура повітря в межах 13-22°C, вологість повітря від 40 до 60 %, швидкість руху повітря в межах 0,2-0,5 м/с, а інтенсивність теплових випромінювань не більше 174 Вт/м². Відповідність параметрів мікроклімату вимогам ГОСТ 12.1.005 досягається за рахунок встановлення, системи опалення[10].

Загальне освітлення кабіни при недостатньому природному освітленні здійснюється плафоном, який закріплений на стелі кабіни, а освітлення приладів окремими лампочками[10].

В разі виникнення аварійної ситуації на машині бортові гальма, гальмування якими виконується тільки в аварійних випадках[10].

Робоче місце тракториста обладнане підресореним сидінням. Сидіння може регулюватися по масі комбайнера 60–120 кг[10].

6. ВИСНОВКИ

Вдосконалено технологічний процес вирощування кукурудзи на силос, розраховано та складено операційно-технологічну карту вивантаження силосу з траншеї, у якій відокремлення порції корму способом відриву замінено на вивантаження силосу безперервним фрезеруванням.

Проведено вдосконалення навантажувача стебельчастих кормів ПСК-5, в результаті якої знизилась маса машини та підвищилась якість подрібнення. Проведені технологічні, кінематичні і енергетичні розрахунки, обґрунтовані геометричні і конструктивні параметри барабана.

Проведений аналіз небезпечних і шкідливих факторів, які можуть виникнути під час реалізації технології та експлуатації машини, яка проектується, та запропоновані заходи по створенню нормальних та нешкідливих санітарно-гігієнічних умов праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Д.Шпаар, К.Гіпаки, Д.Дрегер та ін; під загальною редакцією Д.Шпаара. К.: Альфа-стевія ЛТД, 2009. 396с.
2. Руткевич В.С. Сучасний стан механізації вивантаження консервованих кормів. *Збірник наукових праць ВДАУ*. 2010. №4. С. 45–51.
3. Особливості вирощування кукурудзи на силос / В. Ямкова. *Пропозиція*. 2014. № 5. С. 56–58.
4. Технологія виробництва продукції тваринництва : підруч. / О.Т. Бусенко, В.Є. Скоцик, М.І. Маценко та ін.; за ред. О.Т. Бусенка. К. : Агроосвіта, 2013. 492 с.
5. Бондар С.М., Мельник І.І., Гречкосій В.Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / За ред. І.І.Мельника. Ніжин: АСПЕКТ Поліграф, 2005. 192 с.
6. Машина та обладнання для тваринництва : підручник. / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.С. Хмельовський та ін. К.: ЦП «Компринт», 2018. 567 с.
7. Навантажувач стебельчастих кормів ПСК-5: Технічний опис та інструкція з експлуатації. Київ.
8. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навч. посібник для студ. машинобуд. спец. усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. Харків : НТУ «ХП», 2020. 275 с.
9. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 47 с.

10. Шудренко І.В. Охорона праці в галузі : навч. посібник. Житомир: ЖНАЕУ, 2017. 136 с.

ДОДАТКИ