

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проекту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Розробка технологічного процесу роздавання кормів
на фермі великої рогатої худоби**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Пересипко Костянтин Валентинович

Керівник: _____ Лупко Кристина Олегівна

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інжинірингу технічних систем

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пересипко Костянтин Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Розробка технологічного процесу роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби

керівник проєкту _____
Лупко Кристина Олегівна, докторка філософії

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту _____ 07.06.2026 р. _____.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для роздавання кормів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Розробка технологічного процесу роздавання кормів. 3. Розробка мобільного подрібнювача грубих кормів. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Висновки та пропозиції. Бібліографія _____.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема. 2. ПРТ-7. 3. Приставка. 4. Подрібнюючий бітер. 5. Протиріжучий блок . 6. Ніж. 7. Гайка. 8. Охорона праці. 9. Економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Лупко К.О.		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Пересипко К.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Лупко К.О.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Н. контр.	Івлєв			дипломного проекту	ДДАЕУ, АІС-1-
Затверд.	Дудін				

АНОТАЦІЯ

Пересипко К.В. Розробка технологічного процесу роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Дипломний проєкт присвячено розробці технологічного процесу роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби з удосконаленням мобільного подрібнювача грубих кормів на базі машини ПРТ-7. У роботі проаналізовано сучасні технології приготування та роздавання кормів, вимоги до кормових сумішей для ВРХ, а також технічні засоби для підготовки грубих кормів до згодовування.

Розроблено технологічну схему процесу підготовки, транспортування і роздавання кормів, визначено добову потребу ферми у кормах, продуктивність основних технологічних діляниць та необхідну кількість машин і обладнання. Запропоновано конструктивне удосконалення машини ПРТ-7 шляхом встановлення змінної подрібнювальної приставки, що дозволяє використовувати її не лише для внесення органічних добрив, а й у технологічній лінії підготовки грубих кормів.

У проєкті виконано основні технологічні, кінематичні, конструкційні та енергетичні розрахунки удосконаленого подрібнювача, розглянуто питання охорони праці під час роздавання кормів і експлуатації машини, а також проведено економічну оцінку запропонованого рішення. Встановлено, що впровадження удосконалення сприяє підвищенню якості підготовки кормів, зменшенню трудомісткості процесу, раціональнішому використанню наявної техніки та зниженню експлуатаційних витрат.

Ключові слова: велика рогата худоба, роздавання кормів, грубі корми, кормосуміш, подрібнювач, ПРТ-7, подрібнювальна приставка, технологічний процес, механізація, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	10
1.1 Технології приготування та роздавання кормів на фермах ВРХ	10
1.2 Вимоги до кормових сумішей для ВРХ	14
1.3 Технічні засоби для підготовки грубих кормів до згодовування	16
1.4 Висновки	19
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗДАВАННЯ КОРМІВ	21
2.1 Обґрунтування важливості питання	21
2.2 Вихідні дані	22
2.3 Розробка технологічної схеми процесу	23
2.4 Розрахунок необхідної кількості кормів	25
2.5 Визначення типу та кількості машин і обладнання	27
2.5.1 Підготовка компонентів суміші	27
2.5.2 Приготування та роздавання суміші	29
2.6 Висновки	34
3 РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ГРУБИХ КОРМІВ	36
3.1 Існуючі конструкційно-технологічні рішення	36
3.2 Розробка конструкційно-технологічної схеми удосконалення	37
3.3 Визначення технологічних параметрів удосконалення	40
3.4 Визначення кінематичних параметрів	43
3.5 Визначення конструкційних параметрів	45
3.6 Визначення енергоємності	48

	7
3.7 Робота удосконаленої машини в технологічній лінії	50
3.8 Висновки	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роздаванні кормів	54
4.2 Інструкція з охорони праці для оператора подрібнювача	55
4.3 Висновки	58
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	59
5.1 Вихідні дані	59
5.2 Результати економічної оцінки	60
5.3 Висновки	63
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	64
БІБЛІОГРАФІЯ	66
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Ефективне виробництво продукції скотарства значною мірою залежить від рівня організації годівлі тварин, якості підготовки кормів і своєчасності їх роздавання. На фермах великої рогатої худоби процес годівлі є одним із найбільш трудомістких і енергоємних, оскільки щоденно потребує виконання значного обсягу операцій, пов'язаних із завантаженням, дозуванням, подрібненням, змішуванням, транспортуванням і роздаванням кормів. Будь-які порушення у цьому технологічному ланцюгу призводять до нерівномірного споживання корму, зниження продуктивності тварин, збільшення втрат кормових ресурсів і підвищення собівартості продукції.

Особливе значення має забезпечення нерозривності процесу приготування та роздавання кормів. Після формування кормової суміші вона повинна своєчасно подаватися до кормового столу без зайвих перевантажень і затримок, оскільки це дає змогу зберегти її однорідність, запобігти розшаруванню компонентів і забезпечити рівномірне надходження поживних речовин до кожної тварини. Водночас значна частина існуючих технічних засобів, які використовуються на фермах, не завжди повною мірою відповідає сучасним вимогам щодо продуктивності, універсальності та якості підготовки грубих кормів до згодовування.

Актуальність теми дипломного проєкту зумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічного процесу роздавання кормів на фермі ВРХ шляхом раціонального вибору машин і обладнання, удосконалення технічних засобів для підготовки грубих кормів та зниження трудових і експлуатаційних витрат. Одним із перспективних напрямів є модернізація наявної сільськогосподарської техніки, зокрема використання машини ПРТ-7 не лише за основ-

ним призначенням, а й у технологічній лінії підготовки грубих кормів. Це дозволяє підвищити коефіцієнт використання машини протягом року та розширити її функціональні можливості.

Метою дипломного проєкту є розробка технологічного процесу роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби з обґрунтуванням удосконалення мобільного подрібнювача грубих кормів на базі машини ПРТ-7.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасні технології приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ; визначити основні вимоги до кормових сумішей та технічних засобів їх підготовки; розробити технологічну схему процесу роздавання кормів; розрахувати добову потребу ферми у кормах і визначити необхідну кількість машин та обладнання; запропонувати конструктивне удосконалення мобільної машини для подрібнення грубих кормів; виконати основні технологічні, кінематичні, конструкційні та енергетичні розрахунки; розглянути питання охорони праці та оцінити економічну доцільність запропонованого удосконалення.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Технологічний процес роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби є складовою загальною системи годівлі тварин і безпосередньо впливає на рівномірність споживання раціону, продуктивність, стан здоров'я поголів'я та рівень витрат праці. У сучасних умовах годівлю ВРХ доцільно розглядати не як сукупність окремих операцій, а як єдиний безперервний процес, у якому зберігання кормових компонентів, їх дозування, підготовка, змішування, транспортування і роздавання повинні бути технологічно узгоджені між собою.

Особливе значення має нерозривність операцій “приготування–роздавання”. Якщо після змішування кормова маса тривалий час перебуває у бункері або додатково перевантажується між машинами, вона може втрачати однорідність, розшаровуватися за фракційним складом і вологістю, а окремі компоненти можуть ставати доступними для вибіркового поїдання. Тому під час розробки технологічного процесу роздавання кормів необхідно обґрунтувати таку схему механізації, яка забезпечує своєчасне отримання тваринами якісної кормосуміші з мінімальними втратами та рівномірним розподілом уздовж кормового столу [1; 2].

1.1 Технології приготування та роздавання кормів на фермах ВРХ

На фермах великої рогатої худоби застосовують декілька організаційно-технологічних схем годівлі. Найпростішою є роздільна схема, за якої грубі, соковиті та концентровані корми подаються тваринам окремо. Вона не потребує складного обладнання, однак має істотні недоліки: збільшується кількість проходів техніки, ускладнюється контроль фактичного споживання раціону, а

тварини мають можливість вибрати більш привабливі компоненти. У результаті частина поголів'я отримує незбалансований раціон, що негативно впливає на роботу рубця та продуктивність.

Більш прогресивною є технологія повнозмішаного раціону TMR, за якої всі компоненти - силос, сінаж, сіно, солома, концентрати, білково-вітамінні та мінеральні добавки - змішуються до однорідної кормосуміші і роздаються тваринам як єдина маса. Основна перевага такої технології полягає у тому, що кожна порція корму наближена за складом до розрахованого раціону. Це зменшує вибіркове поїдання, стабілізує споживання сухої речовини та створює умови для рівномірної роботи рубцевої мікрофлори [2; 3].

У технологічному відношенні TMR потребує чіткого поєднання операцій завантаження, дозування, підготовки грубих кормів, змішування, транспортування і роздавання. Нерозривність цього ланцюга означає, що кормова суміш після завершення змішування повинна без затримок надходити до кормового столу. Якщо між приготуванням і роздаванням виникає технологічний розрив, підвищується ризик розшарування суміші: важчі концентровані частинки осідають, довгі стеблові частинки накопичуються у верхній частині, а вологі компоненти можуть ущільнюватися. Тому ефективність TMR визначається не лише конструкцією змішувача, а й узгодженістю всього маршруту руху корму від сховища до тварини.

Найбільш поширеним технічним рішенням для забезпечення нерозривності процесу є використання мобільних кормозмішувачів-роздавачів. У такій машині поєднуються операції дозованого завантаження, часткового подрібнення грубих кормів, змішування, транспортування і роздавання. Застосування мобільного змішувача-роздавача з ваговою системою дає змогу зменшити кількість проміжних перевантажень, скоротити затрати праці, зменшити втрати корму та забезпечити порційне роздавання суміші по всій довжині кормового проходу [6; 10].

На великих молочних комплексах також застосовують стаціонарні кормоцехи або автоматизовані кормові кухні. У таких системах компоненти зберігаються у бункерах і накопичувачах, дозуються за рецептом, подаються транспортерами до змішувача, а потім роздаються роботизованим або мобільним роздавальним засобом. Перевагами є висока точність дозування, можливість готувати декілька раціонів для різних технологічних груп та зменшення впливу людського фактора. Недоліками є вища вартість, складність монтажу і технічного обслуговування. Автоматизовані системи особливо ефективні тоді, коли необхідно подавати свіжу кормосуміш кілька разів на добу та постійно контролювати залишки на кормовому столі [7].

Загальна послідовність технологічного процесу приготування та роздавання кормів на фермі ВРХ наведена на рис. 1.1. У цій схемі всі операції об'єднані в єдиний ланцюг, а завершальна операція контролю залишків використовується для коригування наступного циклу дозування і складу раціону.

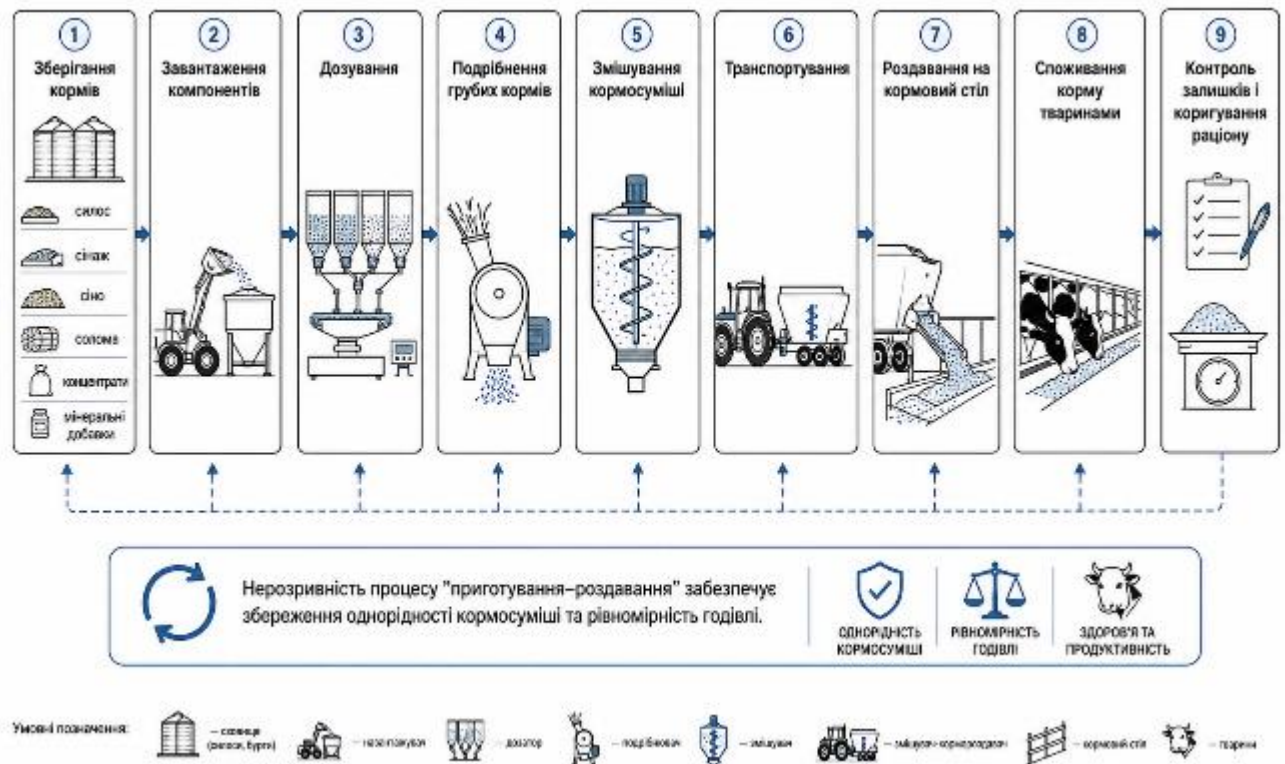


Рисунок 1.1 - Технологічний процес приготування та роздавання кормів на фермі ВРХ

Наведена схема демонструє, що приготування і роздавання кормів не можна розглядати як незалежні етапи. Дозування компонентів має відповідати рецептурі раціону, подрібнення грубих кормів повинно забезпечувати потрібну структуру суміші, а змішування має завершуватися безпосередньо перед транспортуванням і роздаванням. Контроль залишків дозволяє оцінити фактичне споживання корму, виявити помилки у дозуванні або структурі суміші та своєчасно скоригувати раціон.

З позиції технологічної надійності нерозривність процесу “приготування–роздавання” забезпечується трьома умовами: синхронізацією продуктивності машин, мінімізацією кількості перевантажень та використанням зворотного зв’язку за залишками корму. Якщо продуктивність подрібнювача, змішувача і роздавача не узгоджена, виникають простои або накопичення кормової маси. Якщо корм багаторазово перевантажується, зростають втрати та погіршується однорідність. Якщо не ведеться облік залишків, наступні цикли годівлі не враховують реального споживання тварин. Узагальнену схему нерозривності процесу наведено на рис. 1.2.

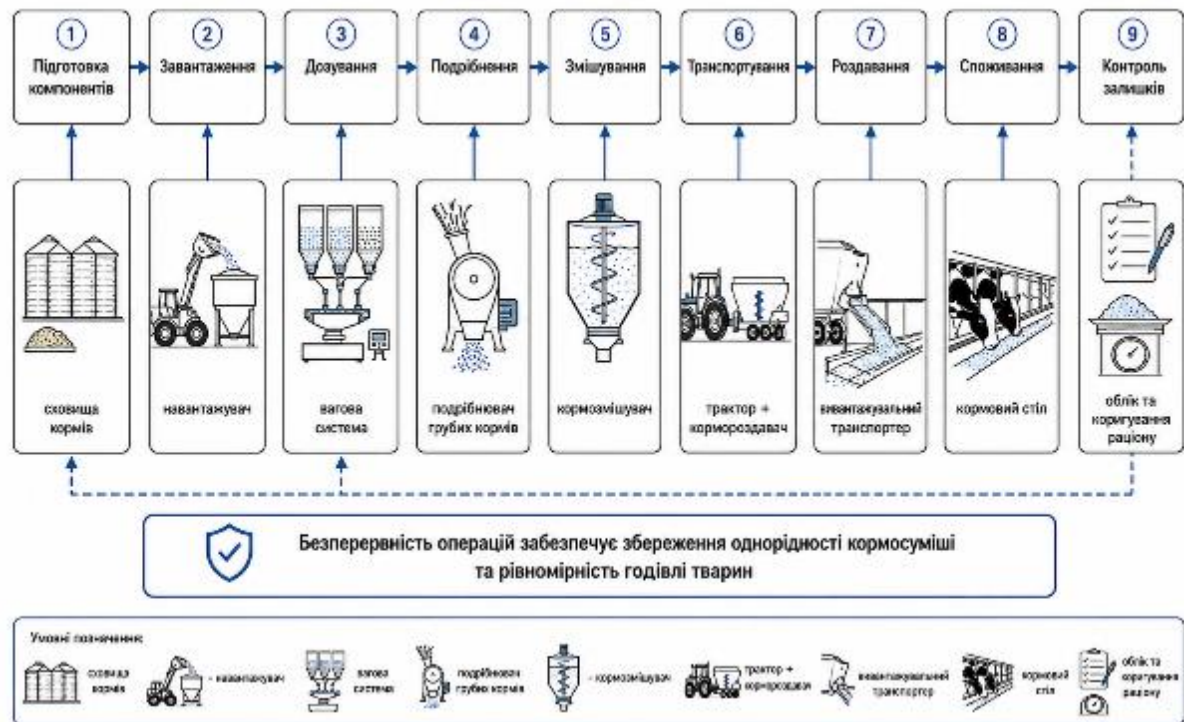


Рисунок 1.2 - Схема нерозривності процесу приготування і роздавання кормів

1.2 Вимоги до кормових сумішей для ВРХ

Кормова суміш для великої рогатої худоби повинна відповідати зоотехнічним, технологічним і експлуатаційним вимогам. Зоотехнічні вимоги визначаються потребами тварин у сухій речовині, обмінній енергії, протеїні, клітковині, мінеральних речовинах, вітамінах і воді. Норми годівлі залежать від живої маси, віку, фізіологічного стану, стадії лактації, рівня продуктивності та умов утримання [1].

Однією з основних вимог до TMR є однорідність. У кожній порції корму тварина повинна отримувати приблизно однакове співвідношення грубих, соковитих і концентрованих компонентів. Якщо суміш неоднорідна, корови можуть сортувати корм, споживаючи насамперед дрібні та енергетично насичені частинки. Це знижує фактичну частку структурної клітковини у спожитому раціоні та може спричиняти порушення рубцевого травлення [4].

Важливе значення має фізична структура кормосуміші. Для жуйних тварин грубі корми виконують не лише поживну, а й фізіологічну функцію: вони

стимулюють жуйку, слиновиділення та підтримання стабільного рН у рубці. Надмірне подрібнення зменшує фізично ефективну клітковину, тоді як за надто довгі частинки погіршують змішування і підсилюють сортування корму. Тому завдання підготовки грубих кормів полягає не в максимальному подрібненні, а у формуванні оптимальної довжини частинок для конкретного раціону і групи тварин [5].

До технологічних вимог належать стабільність суміші під час транспортування, відсутність грудок і непромішаних зон, придатність до рівномірного вивантаження та достатня вологість. Надмірно суха суміш пилить і може погано поїдатися, а надмірно волога - злежується у бункері та ускладнює роботу вивантажувальних органів. Тому технологічні параметри суміші необхідно узгоджувати з конструкцією кормозмішувача-роздавача, типом вивантажувального транспортера і способом розміщення корму на кормовому столі.

Таблиця 1.1 - Основні вимоги до кормових сумішей для ВРХ

Група вимог	Зміст вимоги	Технологічне значення
Поживність	Відповідність раціону потребам тварин за сухою речовиною, енергією, протеїном, клітковиною, мінеральними речовинами та вітамінами.	Забезпечує продуктивність, відтворну здатність і здоров'я поголів'я.
Однорідність	Рівномірний розподіл усіх компонентів по всьому об'єму кормосуміші.	Зменшує вибіркове поїдання та вирівнює фактичне споживання поживних речовин.
Структурність	Наявність достатньої кількості фізично ефективної клітковини за оптимальної довжини частинок.	Підтримує жуйку, слиновиділення і стабільну роботу рубця.
Вологість і сипкість	Суміш не повинна пилити, злежуватися або зависати у бункері кормороздавача.	Забезпечує стабільне вивантаження та рівномірне

		розміщення на кормовому столі.
Стабільність під час руху	Суміш не повинна розшаруватися під час транспортування і роздавання.	Зберігає якість раціону від моменту змішування до споживання тваринами.

Таким чином, якісна кормосуміш повинна бути не лише поживно збалансованою, а й технологічно придатною до механізованого роздавання. Саме вимоги до однорідності, структурності та стабільності суміші визначають вибір робочих органів подрібнювачів, змішувачів і кормороздавачів.

1.3 Технічні засоби для підготовки грубих кормів до згодовування

Грубі корми - сіно, солома, сінаж, стеблові залишки та інші волокнисті матеріали - є важливою складовою раціону ВРХ. Вони забезпечують структурну клітковину, однак у непідготовленому вигляді часто мають значну довжину стебел, неоднорідну щільність, недостатню сипкість і погану здатність до рівномірного змішування з іншими компонентами. Тому перед згодовуванням грубі корми підлягають розпушуванню, різанню, подрібненню або частковому розщепленню [9; 10].

Основним завданням технічних засобів підготовки грубих кормів є формування такої фракційної структури, яка одночасно забезпечує добру змішуваність і зберігає фізіологічну дію клітковини. Якщо частинки занадто довгі, вони погано розподіляються у суміші та можуть відокремлюватися від концентратів. Якщо частинки занадто короткі, корм втрачає структурність. Тому робочі органи машин повинні забезпечувати контрольоване подрібнення, а не повне руйнування волокнистої структури.

Для підготовки грубих кормів до згодовування використовують подрібнювачі, розпушувачі та рулонорозмотувачі, кормозмішувачі з різальними елементами, стаціонарні лінії підготовки кормів, а також допоміжні засоби - навантажувачі, відбирачі силосу, транспортери і вагові системи. Узагальнену класифікацію таких технічних засобів наведено на рис. 1.3.

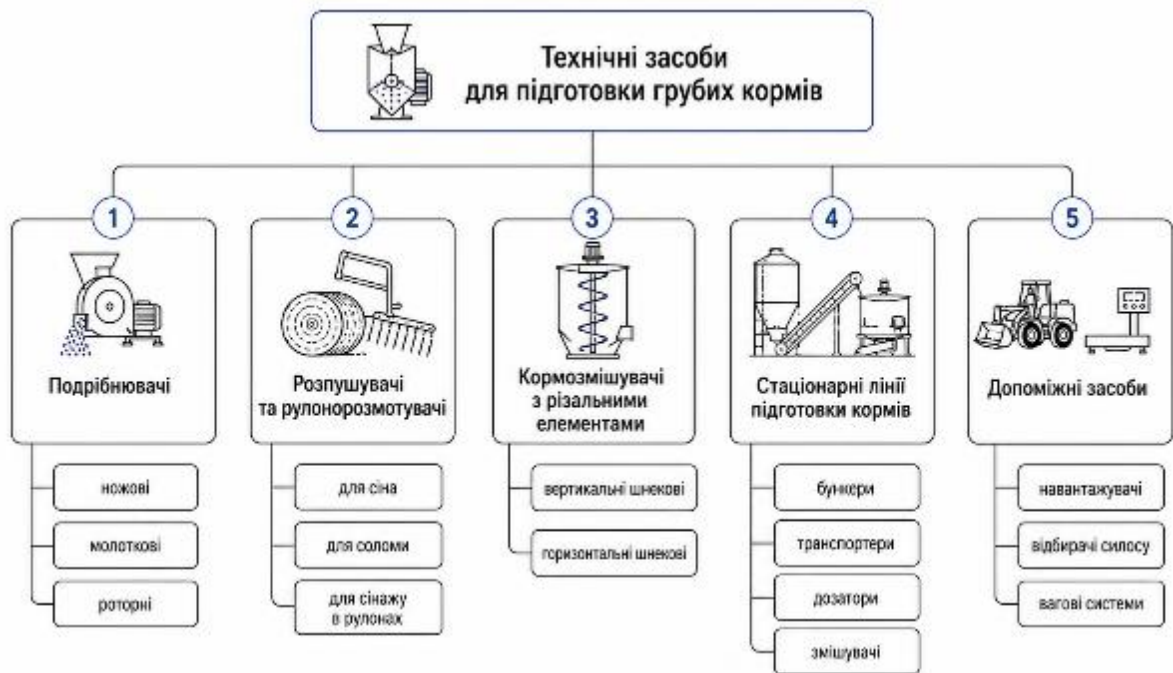


Рисунок 1.3 - Технічні засоби для підготовки грубих кормів до згодовування

Подрібнювачі грубих кормів застосовують для зменшення довжини частинок сіна, соломи і стеблових кормів. За характером дії робочих органів вони можуть бути ножовими, молотковими, роторними або комбінованими. Ножові апарати забезпечують різання стебел, молоткові - ударне руйнування і часткове розщеплення, роторні - інтенсивне подрібнення та транспортування матеріалу. Вибір типу подрібнювача залежить від вологості корму, необхідної довжини частинок, продуктивності лінії та питомих витрат енергії.

Рулонорозмотувачі і розпушувачі призначені для механізованої роботи з кормами, заготовленими в рулонах. Вони розмотують рулон, розпушують масу і подають її до кормового столу, у змішувач або на транспортер. Перевагою таких машин є зменшення ручної праці та можливість обслуговування великих рулонів. Водночас без додаткових різальних органів вони не завжди забезпечують необхідну довжину частинок для якісної TMR-суміші.

Кормозмішувачі-роздавачі з різальними елементами є найбільш універсальними машинами для ферм ВРХ. Вертикальні шнекові змішувачі забезпечують піднімання, розривання, часткове різання і перемішування грубих кормів у бункері. Горизонтальні шнекові або лопатеві змішувачі ефективні для раціонів з меншою часткою довгостеблових компонентів. Наявність вагової системи дає можливість точно дозувати компоненти та оперативно контролювати виконання рецептури [6].

Стаціонарні лінії підготовки кормів доцільні на великих фермах і комплексах, де необхідно готувати значні обсяги кормосуміші для декількох технологічних груп. До їх складу можуть входити приймальні бункери, транспортери, дозатори, подрібнювачі, змішувачі і вивантажувальні пристрої. Такі системи забезпечують високу продуктивність і точність дозування, однак потребують значних капітальних вкладень і складнішого технічного обслуговування.

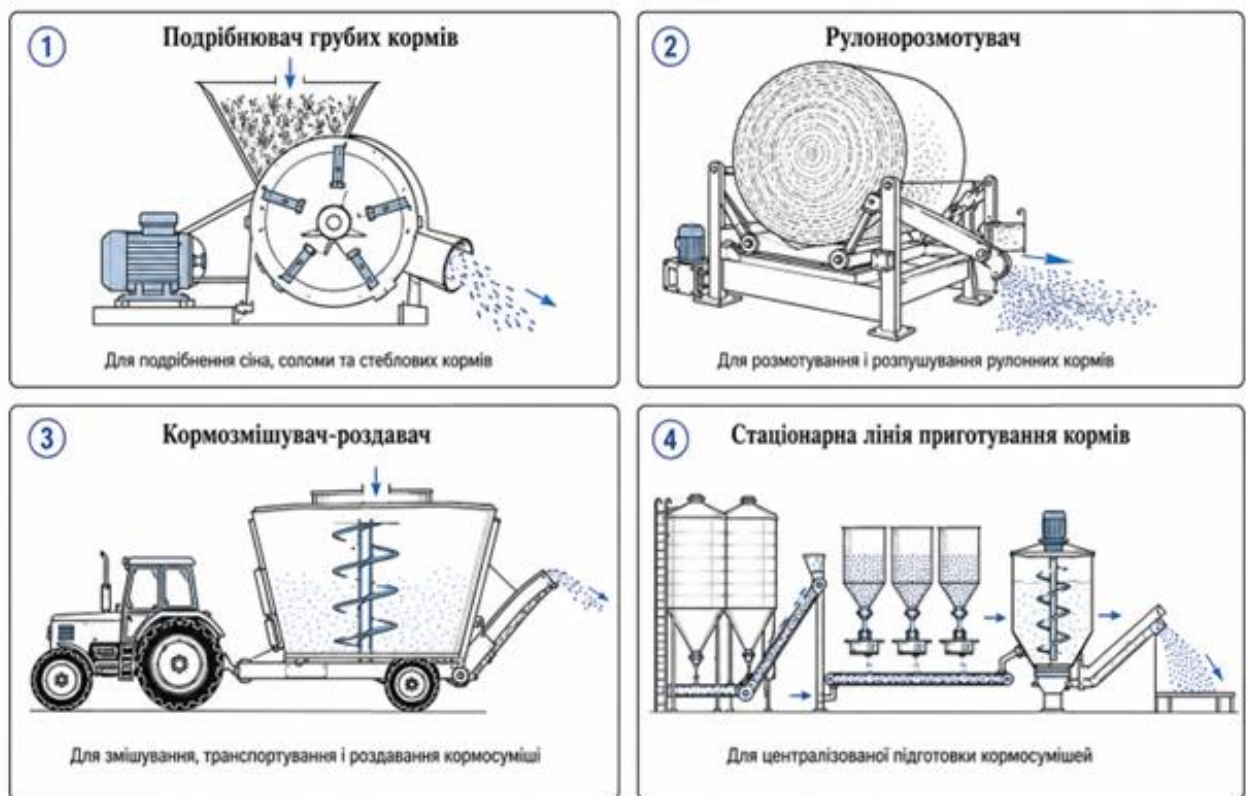


Рисунок 1.4 - Основні машини для підготовки і роздавання кормів на фермах ВРХ

Під час вибору машин для конкретної ферми необхідно враховувати поголів'я, кратність годівлі, структуру раціону, обсяги грубих кормів, спосіб їх зберігання, ширину кормових проходів, наявність навантажувальної техніки та можливість технічного обслуговування. Для ферм середнього розміру найбільш раціональним рішенням є мобільний кормозмішувач-роздавач із ваговою системою і різальними робочими органами. Він поєднує основні операції в одній машині та забезпечує потрібну нерозривність процесу “приготування–роздавання”.

1.4 Висновки

У результаті аналізу встановлено, що технологічний процес роздавання кормів на фермі ВРХ необхідно розглядати як складову єдиного ланцюга “зберігання - дозування - підготовка - змішування - транспортування - роздавання - контроль споживання”. Розрив між приготуванням і роздаванням призводить до

втрати однорідності кормосуміші, збільшення втрат і погіршення фактичного споживання раціону.

Найбільш доцільною для сучасних молочних ферм є технологія повнозмішаного раціону TMR, яка забезпечує рівномірне надходження поживних речовин у кожній порції корму та зменшує вибіркове поїдання компонентів. Ефективність цієї технології залежить від точності дозування, якості подрібнення грубих кормів і стабільності суміші під час транспортування.

Кормові суміші для ВРХ повинні відповідати вимогам поживної збалансованості, однорідності, структурності, оптимальної вологості, стабільності під час руху та придатності до рівномірного вивантаження. Особливе значення має збереження фізично ефективної клітковини, яка підтримує нормальну роботу рубця.

Для підготовки грубих кормів застосовують подрібнювачі, рулонорозмотувачі, розпушувачі, кормозмішувачі з різальними елементами, стаціонарні лінії та допоміжні засоби. Найбільш універсальними для умов ферми ВРХ є мобільні кормозмішувачі-роздавачі, які поєднують підготовку, змішування, транспортування і роздавання кормосуміші.

Подальша розробка технологічного процесу повинна бути спрямована на вибір та узгодження технічних засобів, які забезпечують безперервність операцій, зниження трудових і енергетичних витрат, рівномірне роздавання кормів та можливість оперативного коригування раціону за результатами контролю залишків.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗДАВАННЯ КОРМІВ

2.1 Обґрунтування важливості питання

Роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби є завершальною, але не ізольованою операцією загальної системи годівлі. Якість цієї операції визначається не лише рівномірністю укладання корму на кормовому столі, а й тим, наскільки узгоджено виконані попередні етапи: підготовка компонентів, дозування, подрібнення грубих кормів, змішування і транспортування. Тому у проєкті процес роздавання розглядається як частина єдиного технологічного ланцюга «приготування - роздавання», у якому порушення хоча б однієї ланки призводить до погіршення однорідності кормосуміші та збільшення непродуктивних витрат часу.

Для молочного стада особливо важливо забезпечити стабільність раціону протягом доби. Якщо окремі компоненти корму роздаються нерівномірно або суміш частково розшаровується під час транспортування, тварини отримують різні за складом порції корму. Це призводить до вибіркового поїдання, коливання споживання сухої речовини, зниження ефективності використання поживних речовин і збільшення ризику порушень травлення. Саме тому сучасні технології годівлі ВРХ базуються на використанні повнозмішаних раціонів, у яких грубі, соковиті, концентровані та мінеральні компоненти надходять до тварин у вигляді однорідної суміші [11, 12].

Проектowana технологічна схема повинна забезпечувати виконання заданого обсягу робіт у межах регламентованого часу годівлі. Для цього необхідно розрахувати добову та разову потребу в кормах, визначити продуктивність окремих ділень, підібрати місткість кормозмішувача-роздавача, перевірити кількість рейсів і тривалість технологічного циклу. Важливо, щоб продуктивність

навантажувача, подрібнювача, вагової системи, змішувача та вивантажувального транспортера була взаємно узгодженою. Якщо продуктивність однієї машини нижча за потрібну, вона стає «вузьким місцем» і порушує безперервність процесу.

З огляду на це метою розділу є розробка технологічної схеми механізованого приготування і роздавання кормосуміші для ферми ВРХ, визначення потреби в кормах та розрахунок основних параметрів машин і обладнання за прийнятою схемою процесу.

2.2 Вихідні дані

Вихідними даними до проектування є поголів'я тварин, структура раціону, кратність годівлі, допустима тривалість виконання операції, прийнята технологічна схема і зоотехнічні вимоги до якості кормосуміші. Розрахунок виконано для молочної ферми з поголів'ям 400 голів, до складу якого входять корови основного стада та нетелі. Продуктивність корів прийнято на рівні 7000 кг молока за рік. Кількість роздавань корму приймаємо двічі на добу, що відповідає поширеній практиці організації годівлі на фермах із груповим утриманням тварин.

Основні вихідні дані наведено в таблиці 2.1. Розрахункові значення раціону прийняті як середньодобові для технологічного проектування. У практичних умовах вони уточнюються з урахуванням фактичної поживності кормів, результатів лабораторного аналізу та продуктивності окремих технологічних груп.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунку технологічного процесу

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Поголів'я тварин	N	гол.	400
Кількість роздавань корму за добу	m	разів/добу	2

Розрахункова продуктивність корів	P_m	кг молока/рік	7000
Коефіцієнт технологічного запасу корму	k_z	-	1,03
Допустима тривалість одного періоду годівлі	T_r	год	2,0
Частка тварин, що одночасно підходять до кормового столу	ψ	-	0,75
Розрахункова ширина фронту годівлі на одну голову	l_r	м/гол.	0,65
Розрахункова об'ємна маса кормосуміші	γ_c	т/м ³	0,45
Коефіцієнт заповнення бункера змішувача	ϕ	-	0,85

Для забезпечення стабільного процесу приймаємо таку структуру технологічного ланцюга: зберігання кормів; завантаження компонентів; дозування; підготовка грубих кормів; змішування; транспортування кормосуміші; роздавання на кормовий стіл; контроль залишків і коригування раціону. Така послідовність відповідає принципу нерозривності операцій і дозволяє уникнути зайвих перевантажень кормової маси.

2.3 Розробка технологічної схеми процесу

Технологічна схема процесу приготування та роздавання кормів наведена на рис. 2.1. Вона передбачає, що основні кормові компоненти зберігаються в окремих місцях: силос і сінаж - у траншеях або буртах, сіно і солома - у рулонах або тюках, концентрати та мінеральні добавки - у бункерах чи складських ємнос-

стях. Завантаження компонентів у змішувач здійснюється фронтальним навантажувачем, а точність рецептури забезпечується ваговою системою кормозмішувача або окремою дозувальною дільницею.

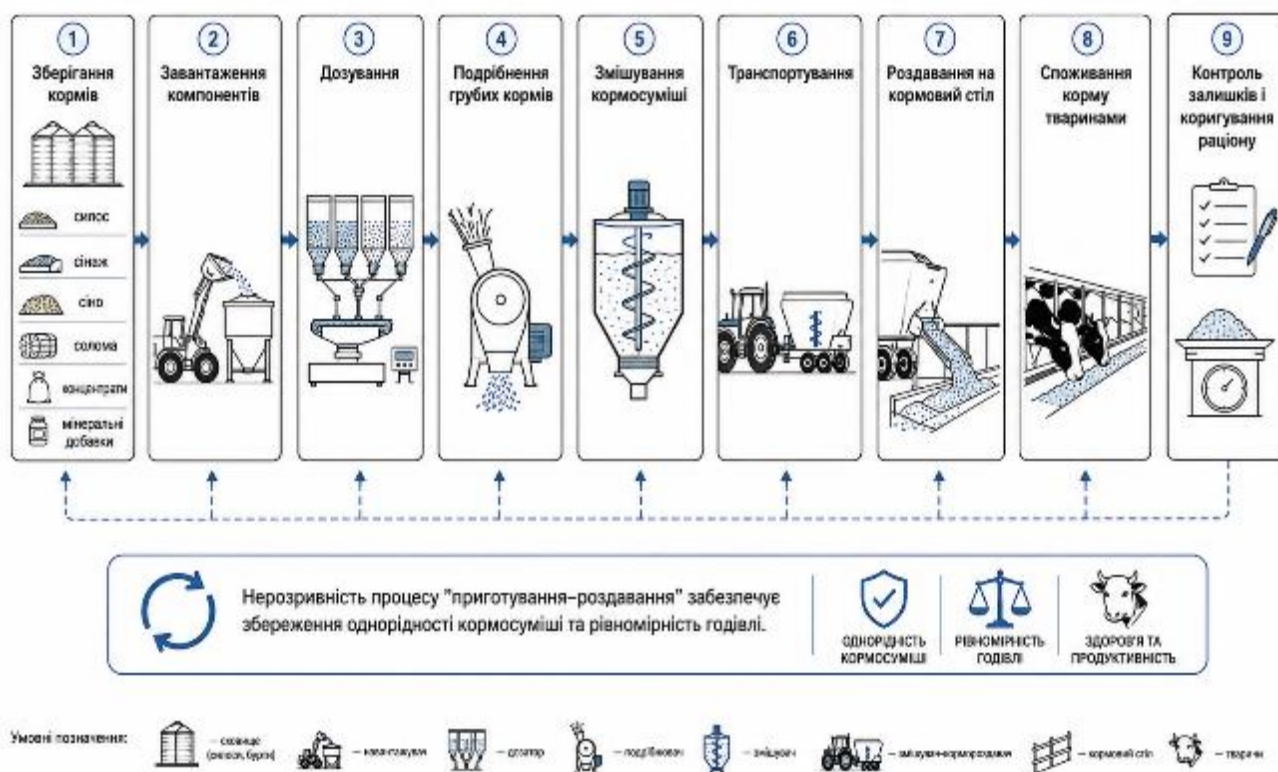


Рисунок 2.1 - Схема технологічного процесу приготування та роздавання кормів

У запропонованій схемі грубі корми, які мають надмірну довжину частинок, перед завантаженням у змішувач подрібнюються або розпушуються. Такий підхід зменшує тривалість змішування, підвищує однорідність кормосуміші та знижує навантаження на шнекові робочі органи кормозмішувача-роздавача. Концентрати і мінеральні добавки вводяться після основної частини грубих та соковитих кормів, щоб запобігти їх осіданню в нижній частині бункера і забезпечити рівномірний розподіл по всьому об'єму суміші.

Нерозривність процесу забезпечується тим, що завершення підготовки партії кормосуміші безпосередньо переходить у її транспортування і роздавання. Після роздавання залишки корму контролюються, а результати контролю використовуються для коригування наступного завантаження. Зворотний зв'язок між

контролем залишків і дозуванням компонентів є необхідною умовою підтримання фактичного раціону на рівні розрахункового.

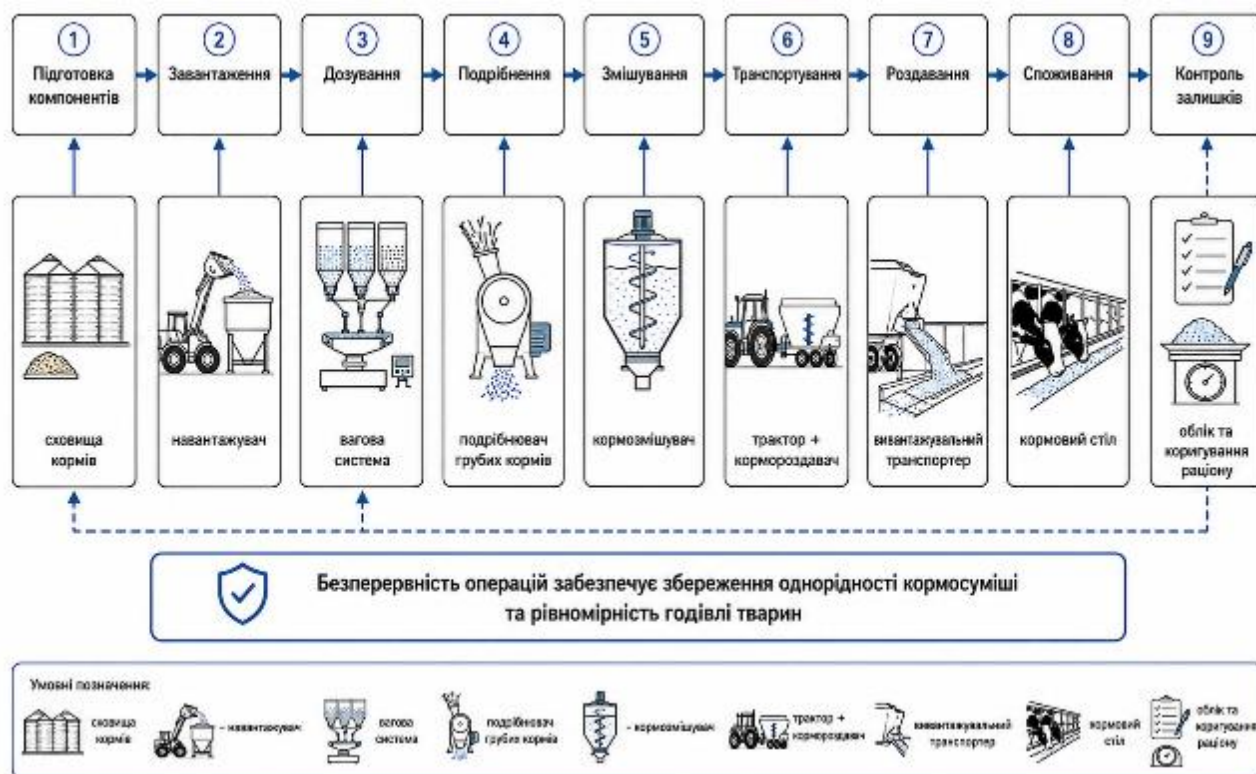


Рисунок 2.2 - Схема нерозривності процесу приготування і роздавання кормів

За прийнятою схемою до складу основного обладнання входять: сховища кормів, фронтальний навантажувач, вагова система, подрібнювач грубих кормів, кормозмішувач-роздавач, трактор або самохідне енергетичне шасі, вивантажувальний транспортер та засоби контролю залишків корму. Орієнтовна компоновка основних машин, які використовуються для підготовки і роздавання кормів, наведена на рис. 2.3.

2.4 Розрахунок необхідної кількості кормів

Добову потребу в кожному компоненті раціону визначаємо за поголов'ям тварин, добовою нормою згодовування і коефіцієнтом технологічного запасу.

Коефіцієнт запасу враховує можливі втрати під час відбору, завантаження, транспортування та роздавання кормів.

$$Q_{\text{доб.}i} = \frac{(N \cdot q_i \cdot k_z)}{1000}, \quad \text{т/добу.} \quad (2.1)$$

де N - поголів'я тварин, гол.; q_i - добова норма згодовування i -го компонента, кг/гол.; k_z - коефіцієнт технологічного запасу; $Q_{\text{доб.}i}$ - добова потреба в i -му компоненті корму, т/добу.

Разову потребу в компоненті при заданій кратності годівлі визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{раз.}i} = \frac{Q_{\text{доб.}i}}{m}, \quad \text{т.} \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{раз.}i}$ - кількість i -го компонента на одне роздавання, т; m - кількість роздавань корму за добу.

Загальну добову потребу в кормосуміші визначаємо як суму потреби за всіма компонентами раціону:

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_{\text{доб.}i} \cdot \frac{\tau}{\text{добу}}. \quad (2.3)$$

де Q_{Σ} - загальна добова потреба в кормосуміші, т/добу; n - кількість компонентів раціону.

Результати розрахунку потреби в кормах наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахунок добової та разової потреби в кормах

Компонент раціону	Норма, кг/гол.·добу	$Q_{\text{доб.}i}$, т/добу	$Q_{\text{раз.}i}$, Т	На партію, т
Кукурудзяний силос	24,00	9,888	4,944	4,944
Сінаж	12,00	4,944	2,472	2,472
Сіно	2,00	0,824	0,412	0,412
Солома	1,00	0,412	0,206	0,206
Концентрати	6,00	2,472	1,236	1,236
Мінеральні добавки	0,15	0,062	0,031	0,031
Разом	45,15	18,602	9,301	9,301

За результатами розрахунку загальна добова потреба у кормосуміші становить 18,602 т, а на одне роздавання необхідно підготувати і роздати 9,301 т корму. Такий обсяг може бути забезпечений одним кормозмішувачем-роздавачем підвищеної місткості за умови, що корисна маса однієї партії перевищує разову потребу у кормосуміші.

Для контролю структури раціону додатково визначимо кількість сухої речовини, яка надходить із кормами. Для i -го компонента вона дорівнює:

$$Q_{\text{ср.}i} = \frac{(N \cdot q_i \cdot d_i \cdot k_3)}{1000}, \frac{\text{т}}{\text{добу}}. \quad (2.4)$$

де $Q_{\text{ср.}i}$ - добова кількість сухої речовини в i -му компоненті, т/добу; d_i - частка сухої речовини в i -му компоненті корму.

Розрахункова кількість сухої речовини за прийнятим раціоном становить 8,98 т/добу. У перерахунку на одну голову це відповідає приблизно 21,8 кг сухої речовини на добу, що є прийнятним рівнем для корів із продуктивністю близько 7000 кг молока за рік за умови уточнення раціону за фактичними аналізами кормів [12].

2.5 Визначення типу та кількості машин і обладнання

2.5.1 Підготовка компонентів суміші

Підготовка компонентів суміші включає відбір кормів зі сховищ, завантаження, дозування, подрібнення грубих кормів і передавання компонентів у кормозмішувач. Основним завданням цієї ділянки є забезпечення такої продуктивності, щоб змішувач не простоював під час формування партії, а компоненти надходили в нього у заданій послідовності.

Продуктивність окремої ділянки підготовки корму визначаємо за відношенням кількості корму, що необхідно підготувати за одне роздавання, до допустимого часу виконання операції:

$$W_i = \frac{Q_{\text{раз.}i}}{T_i}, \text{ т/год.} \quad (2.5)$$

де W_i - необхідна продуктивність ділянки підготовки i -го компонента, т/год; $Q_{\text{раз.}i}$ - маса компонента на одне роздавання, т; T_i - допустима тривалість підготовки компонента, год.

Кількість машин для виконання відповідної операції визначаємо за формулою:

$$n_i = \frac{W_i}{(W_{\text{м.}i} \cdot \eta_i)}. \quad (2.6)$$

де n_i - розрахункова кількість машин; $W_{\text{м.}i}$ - паспортна або прийнята експлуатаційна продуктивність однієї машини, т/год; η_i - коефіцієнт використання продуктивності машини.

Розрахункове значення кількості машин округлюємо до більшого цілого числа, оскільки кількість машин має бути цілою. У таблиці 2.3 наведено узагальнений розрахунок продуктивності основних ділянок підготовки компонентів.

Таблиця 2.3 - Розрахунок продуктивності ділянок підготовки компонентів

Операція	Обсяг, т	Потрібна продуктив- ність, т/год	Прийняте облад- нання	Кіль- кість, шт.
Завантаження силосу і сінажу	7,416	12,36	Фронтальний на- вантажувач	1
Завантаження концен- тратів і добавок	1,267	5,07	Бункер-дозатор, вагова система	1
Подрібнення сіна і со- ломи	0,618	1,24	Подрібнювач гру- бих кормів	1
Зважування компонен- тів	9,301	14,31	Вагова система кормозмішувача	1

Із таблиці видно, що для прийнятого поголів'я достатньо одного фронтального навантажувача, одного подрібнювача грубих кормів і однієї вагової системи, якщо їх фактична продуктивність не нижча за розрахункову. Найбільш навантаженою є операція завантаження силосу і сінажу, оскільки ці компоненти становлять основну масу кормосуміші. Тому навантажувач повинен забезпечувати не лише потрібну продуктивність, а й акуратний відбір корму зі сховища без зайвого розрихлення поверхні силосної маси.

Грубі корми у вигляді сіна і соломи перед введенням у суміш доцільно подрібнювати до довжини частинок, що забезпечує добру змішуваність і не порушує структурної ролі клітковини. Потреба в подрібненні становить 0,618 т за одне роздавання. При допустимому часі 0,5 год необхідна продуктивність подрібнювача дорівнює 1,24 т/год. Тому приймаємо подрібнювач грубих кормів продуктивністю не менше 2,0 т/год. Запас продуктивності дозволяє компенсувати нерівномірність подачі рулонного сіна або соломи та не затримувати завантаження змішувача.

Для дозування компонентів приймаємо вагову систему кормозмішувача-роздавача з індикацією маси завантаження. Її застосування є доцільним, оскільки точність завантаження концентратів, білково-мінеральних добавок і грубих кормів безпосередньо впливає на стабільність поживності суміші. Сучасні змішувачі-роздавачі оснащуються системами зважування та електронного контролю рецептур, що дозволяє зменшити людський фактор під час формування партії [14, 15].

2.5.2 Приготування та роздавання суміші

Основною машиною проєктованого процесу є кормозмішувач-роздавач, який виконує змішування, транспортування та дозоване вивантаження кормосу-

міші на кормовий стіл. Місткість його бункера має забезпечувати підготовку однієї партії, достатньої для одного роздавання. Корисну масу завантаження змішувача визначаємо за формулою:

$$G_{\text{зм}} = V_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot \varphi, \text{ т.} \quad (2.7)$$

де $G_{\text{зм}}$ - корисна маса кормосуміші в бункері змішувача, т; $V_{\text{б}}$ - геометричний об'єм бункера, м^3 ; $\gamma_{\text{с}}$ - об'ємна маса кормосуміші, $\text{т}/\text{м}^3$; φ - коефіцієнт заповнення бункера.

Для забезпечення одного роздавання приймаємо двошнековий вертикальний кормозмішувач-роздавач з об'ємом бункера $V_{\text{б}} = 25 \text{ м}^3$. За розрахункової об'ємної маси суміші $\gamma_{\text{с}} = 0,45 \text{ т}/\text{м}^3$ і коефіцієнта заповнення $\varphi = 0,85$ отримаємо:

$$G_{\text{зм}} = 25 \cdot 0,45 \cdot 0,85 = 9,56 \text{ т.} \quad (2.8)$$

Оскільки корисна маса завантаження становить 9,56 т, а разова потреба у кормосуміші дорівнює 9,301 т, місткість змішувача є достатньою для приготування однієї партії на одне роздавання. Кількість партій визначаємо за формулою:

$$z = \text{ceil} \left(\frac{Q_{\text{раз}}}{G_{\text{зм}}} \right). \quad (2.9)$$

де z - кількість партій або рейсів на одне роздавання; $Q_{\text{раз}}$ - загальна маса кормосуміші на одне роздавання, т; $G_{\text{зм}}$ - корисна маса завантаження змішувача, т.

Підставляючи значення, маємо $z = 9,301 / 9,56 = 1$. Отже, за прийнятої місткості бункера один рейс кормозмішувача-роздавача забезпечує одне повне роздавання кормосуміші.

Тривалість технологічного циклу кормозмішувача-роздавача визначаємо як суму часу завантаження, змішування, транспортування, роздавання, повернення і допоміжних операцій:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{доп}}, \text{ хв.} \quad (2.10)$$

де $t_{\text{ц}}$ - тривалість одного технологічного циклу, хв; $t_{\text{зав}}$ - час завантаження компонентів; $t_{\text{зм}}$ - час змішування; $t_{\text{тр}}$ - час транспортування до кормового проходу; $t_{\text{роз}}$ - час роздавання; $t_{\text{пов}}$ - час повернення машини; $t_{\text{доп}}$ - час допоміжних операцій.

Час завантаження визначаємо за продуктивністю навантажувача:

$$t_{\text{зав}} = \left(\frac{Q_{\text{раз}}}{W_{\text{зав}}} \right) \cdot 60, \quad \text{хв.} \quad (2.11)$$

де $W_{\text{зав}}$ - експлуатаційна продуктивність навантажувача, т/год.

За продуктивності навантажувача 15 т/год отримаємо $t_{\text{зав}} = 9,301 / 15 \cdot 60 = 37,2$ хв. Час змішування приймаємо 15 хв, що відповідає роботі вертикального шнекового змішувача після завершення завантаження основних компонентів. Дослідження процесів змішування TMR показують, що ступінь завантаження бункера, тривалість різання та змішування істотно впливають на рівномірність суміші під час роздавання [13].

Довжину кормового фронту визначаємо за формулою:

$$L_{\text{ф}} = N \cdot l_{\text{г}} \cdot \psi, \quad \text{м.} \quad (2.12)$$

де $L_{\text{ф}}$ - розрахункова довжина кормового фронту, м; $l_{\text{г}}$ - ширина фронту годівлі на одну голову, м/гол.; ψ - частка тварин, що одночасно підходять до кормового столу.

Для прийнятих умов $L_{\text{ф}} = 400 \cdot 0,65 \cdot 0,75 = 195$ м. Лінійну норму укладання корму на кормовому столі визначаємо так:

$$g_{\text{л}} = \frac{(Q_{\text{раз}} \cdot 1000)}{L_{\text{ф}}}, \quad \text{кг/м.} \quad (2.13)$$

де $g_{\text{л}}$ - маса корму, що припадає на 1 м кормового фронту, кг/м.

За разової потреби 9,301 т та довжини кормового фронту 195 м маємо $g_{\text{л}} = 47,7$ кг/м. Швидкість руху агрегату під час роздавання визначаємо за продуктивністю вивантажувального транспортера:

$$v_{\text{р}} = \frac{W_{\text{вив}}}{g_{\text{л}}}, \quad \text{м/с.} \quad (2.14)$$

де v_p - швидкість руху агрегату під час роздавання, м/с; $W_{\text{вив}}$ - масова продуктивність вивантажувального транспортера, кг/с.

За продуктивності вивантажувального транспортера 10 кг/с отримаємо $v_p = 10 / 47,7 = 0,21$ м/с, або приблизно 0,75 км/год. Така швидкість є технологічно прийнятною для рівномірного укладання кормосуміші вздовж кормового столу. Час роздавання становитиме:

$$t_{\text{роз}} = \frac{L_{\phi}}{(v_p \cdot 60)}, \text{ хв.} \quad (2.15)$$

де $t_{\text{роз}}$ - час роздавання кормосуміші вздовж кормового фронту, хв.

Для прийнятих значень $t_{\text{роз}} = 195 / (0,21 \cdot 60) = 15,5$ хв. Узагальнений розрахунок тривалості циклу наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахунок тривалості технологічного циклу кормозмішувача-роздавача

Елемент циклу	Позначення	Значення, хв	Обґрунтування
Завантаження компонентів	$t_{\text{зав}}$	37,2	За продуктивністю навантажувача 15 т/год
Змішування кормосуміші	$t_{\text{зм}}$	15,0	Прийнято для вертикального шнекового змішувача
Транспортування до кормового проходу	$t_{\text{тр}}$	6,0	За плануванням ферми і маневруванням агрегату
Роздавання на кормовий стіл	$t_{\text{роз}}$	15,5	За довжиною кормового фронту 195 м
Повернення до місця завантаження	$t_{\text{пов}}$	6,0	З урахуванням маневрування
Допоміжні операції і контроль	$t_{\text{доп}}$	3,0	Вмикання/вимикання механізмів, перевірка залишків
Разом	$t_{\text{ц}}$	82,7	

Експлуатаційну продуктивність кормозмішувача-роздавача визначаємо за формулою:

$$W_{\text{експ}} = \frac{Q_{\text{раз}}}{\left(\frac{t_{\text{ц}}}{60}\right)} \text{ т/год.} \quad (2.16)$$

де $W_{\text{експ}}$ - експлуатаційна продуктивність кормозмішувача-роздавача, т/год.

Підставляючи значення, маємо $W_{\text{експ}} = 9,301 / (82,7 / 60) = 6,75$ т/год. Необхідну кількість кормозмішувачів-роздавачів визначаємо за формулою:

$$n_{\text{кр}} = \frac{Q_{\text{раз}}}{(W_{\text{експ}} \cdot T_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{зм}})}. \quad (2.17)$$

де $n_{\text{кр}}$ - кількість кормозмішувачів-роздавачів; $T_{\text{г}}$ - допустима тривалість одного періоду годівлі, год; $\eta_{\text{зм}}$ - коефіцієнт використання змінного часу.

За $T_{\text{г}} = 2,0$ год та $\eta_{\text{зм}} = 0,90$ отримаємо $n_{\text{кр}} = 9,301 / (6,75 \cdot 2,0 \cdot 0,90) = 0,77$. Після округлення приймаємо один кормозмішувач-роздавач. Прийнята машина забезпечує виконання одного роздавання за 82,7 хв, що менше допустимої тривалості 120 хв. Отже, технологічний запас часу становить приблизно 37 хв на кожне роздавання.

На основі виконаних розрахунків формуємо склад машин і обладнання технологічної лінії, наведений у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Прийнятий склад машин і обладнання технологічної лінії

Елемент технологічної схеми	Прийняте технічне рішення	Основний параметр	Кількість
Сховища силосу і сінажу	Траншейні або буртові сховища з механізованим відбором	Добова потреба 14,832 т	За наявним обсягом
Склад грубих кормів	Зберігання сіна і соломи в рулонах або тюках	Добова потреба 1,236 т	За запасом кормів
Склад концентратів	Бункер або складська ємність із можливістю дозування	Добова потреба 2,472 т	1 комплект

Завантаження компонентів	Фронтальний навантажувач	Не менше 12,36 т/год	1
Підготовка грубих кормів	Подрібнювач сіна і соломи	Не менше 1,24 т/год	1
Дозування	Вагова система кормозмішувача	Не менше 9,3 т на партію	1
Змішування і роздавання	Двошнековий кормозмішувач-роздавач	$V_6 = 25 \text{ м}^3$, $G_{зм} = 9,56 \text{ т}$	1
Роздавання на кормовий стіл	Вивантажувальний транспортер змішувача	$W_{вив} = 10 \text{ кг/с}$	1
Контроль залишків	Зважування залишків, журнал або електронний облік	Коригування наступної партії	1 комплект

Прийнята технологічна лінія є збалансованою за продуктивністю. Завантажувач забезпечує підготовку компонентів без простою кормозмішувача, подрібнювач має запас продуктивності для сіна і соломи, а місткість змішувача дозволяє виконувати одне роздавання одним рейсом. У разі збільшення поголів'я або переходу на триразове роздавання необхідно повторно перевірити місткість змішувача, продуктивність навантажувача і тривалість циклу.

2.6 Висновки

У розділі розроблено технологічну схему приготування і роздавання кормів на фермі ВРХ, яка передбачає послідовне виконання операцій зберігання, завантаження, дозування, подрібнення грубих кормів, змішування, транспортування, роздавання та контролю залишків. Така схема забезпечує нерозривність процесу «приготування - роздавання» і дозволяє підтримувати однорідність кормосуміші під час її подачі тваринам.

За прийнятого поголів'я 400 голів і дворазового роздавання корму загальна добова потреба у кормосуміші становить 18,602 т, а потреба на одне роздавання - 9,301 т. Найбільшу частку в раціоні займають силос і сінаж, тому саме операції

їх відбору та завантаження визначають основне навантаження на дільницю підготовки компонентів.

Для підготовки компонентів суміші прийнято один фронтальний навантажувач продуктивністю не менше 15 т/год, один подрібнювач грубих кормів продуктивністю не менше 2 т/год і вагову систему кормозмішувача. Розрахункова потреба в подрібненні сіна і соломи становить 0,618 т на одне роздавання, тому прийнятий подрібнювач має достатній запас продуктивності.

Для приготування і роздавання кормосуміші прийнято двошнековий кормозмішувач-роздавач об'ємом 25 м³. Корисна маса його завантаження становить 9,56 т, що перевищує разову потребу у кормосуміші. Це дозволяє виконувати одне роздавання одним рейсом. Тривалість технологічного циклу становить 82,7 хв, що менше допустимої тривалості періоду годівлі 120 хв.

Отже, розрахунки підтверджують, що прийнятий склад машин і обладнання забезпечує необхідну продуктивність технологічного процесу, зберігає безперервність операцій і створює умови для рівномірного роздавання повнозмішаної кормосуміші на фермі ВРХ.

3 РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ГРУБИХ КОРМІВ

3.1 Існуючі конструкційно-технологічні рішення

У технологічних лініях годівлі великої рогатої худоби підготовка грубих кормів є однією з найбільш відповідальних операцій, оскільки від ступеня подрібнення, рівномірності подачі та збереження структурності частинок залежить якість подальшого змішування. Сіно, солома, сінаж у рулонах і стеблові рештки мають неоднорідну довжину, різну щільність укладання та схильність до зависання у бункерах. Тому їх безпосереднє введення у кормозмішувач без попередньої підготовки часто збільшує тривалість змішування, підвищує енерговитрати та погіршує однорідність кормосуміші.

Для підготовки грубих кормів на фермах ВРХ застосовують стаціонарні подрібнювачі, рулонорозмотувачі, розпушувачі, кормозмішувачі з різальними елементами та мобільні машини, які поєднують транспортування і подрібнення корму. Стаціонарні подрібнювачі забезпечують достатню якість різання, але потребують окремої ділянки, додаткових перевантажень і транспортерів. Рулонорозмотувачі ефективні для розбирання рулонів, однак не завжди забезпечують необхідну довжину частинок. Кормозмішувачі-роздавачі з ножами на шнеках можуть частково подрібнювати грубі корми, але при великій частці довгостеблової маси збільшується час циклу та навантаження на привід змішувача [20].

Окрему групу становлять причіпні транспортно-технологічні машини, які мають місткий кузов, ланцюгово-планчастий транспортер і задній робочий орган. До таких машин належать розкидачі органічних добрив типу ПРТ-7. Базова машина ПРТ-7 має вантажопідйомність близько 7 т, місткість кузова орієнтовно 5,3-6,0 м³, ширину 2,5 м і транспортну швидкість до 30 км/год [17-19]. За основним призначенням вона використовується для транспортування і розкидання твердих органічних добрив. Конструктивно машина містить раму, кузов, ходову

частину, дишло, карданний привід, ланцюгово-планчастий транспортер і задній розкидальний пристрій.

Недоліком експлуатації таких машин є сезонність використання. У періоди внесення органічних добрив вони працюють інтенсивно, але протягом значної частини року простоюють на зберіганні. Водночас на фермі ВРХ протягом усього року існує потреба в транспортуванні, розпушуванні та подрібненні грубих кормів. Тому доцільним напрямом удосконалення є переобладнання причіпної машини ПРТ-7 шляхом встановлення швидкозмінної різальної головки замість розкидальних робочих органів. Такий підхід дозволяє підвищити коефіцієнт використання базового шасі, зменшити потребу в окремому подрібнювачі та забезпечити включення машини у технологічну лінію приготування кормів.

Розроблюване удосконалення передбачає використання кузова ПРТ-7 як буферної ємності й транспортера подачі кормової маси до різальної головки. Ланцюгово-планчастий транспортер переміщує сіно, соломку, сінаж або інший грубий корм у напрямку задньої приставки, де матеріал захоплюється подрібнювальними барабанами, розпушується, перерізається і викидається у приймальну зону або на подальший транспортний засіб. Після демонтажу різальної приставки машина може знову використовуватися за основним призначенням для внесення органічних добрив.

3.2 Розробка конструкційно-технологічної схеми удосконалення

Конструкційна розробка полягає у модернізації розкидача органічних добрив ПРТ-7 шляхом встановлення задньої швидкозмінної приставки з подрібнювальними барабанами. На відміну від базового розкидального пристрою, який призначений для розкидання гною по полю, нова приставка виконує технологічні функції розпушування, дозованого відбору і подрібнення грубих кормів. При

цьому зберігаються основні вузли базової машини: рама, кузов, ходова частина, дишло, опора, привід і ланцюгово-планчастий транспортер.

Загальний вигляд модернізованої машини наведено на рис. 3.1. Із креслення видно, що базовий кузов зберігає поздовжній ланцюгово-планчастий транспортер на дні, який подає кормову масу до заднього робочого органа. У задній частині встановлюється приставка, що містить корпус, систему подрібнювальних барабанів, захисні кожухи, елементи кріплення і привід. Така компоновка дозволяє використовувати об'єм кузова не лише для перевезення, а й для рівномірної подачі маси в зону різання.

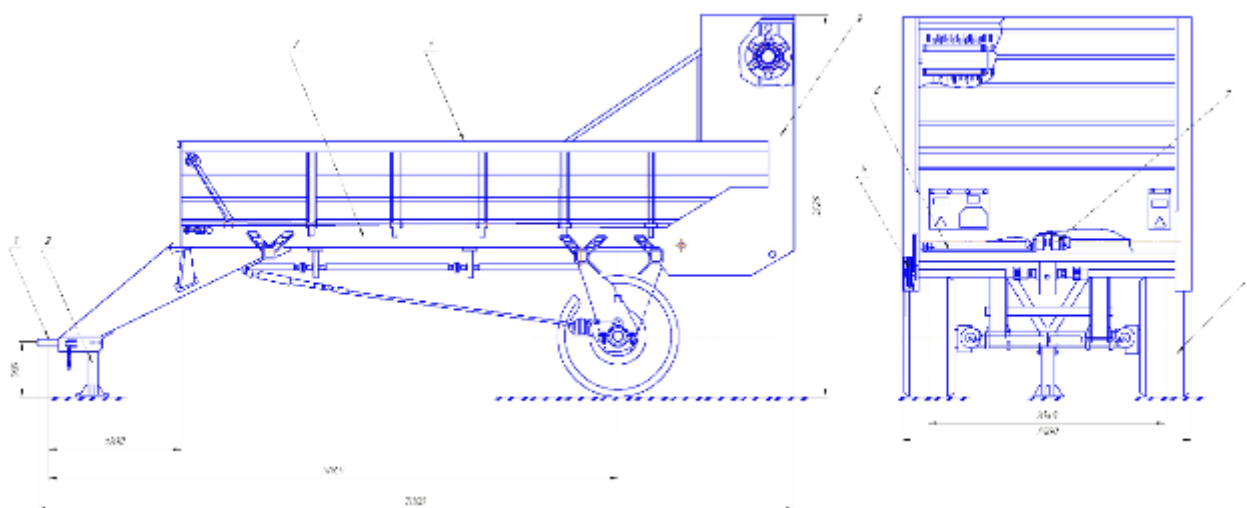


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд удосконаленого мобільного подрібнювача грубих кормів на базі ПРТ-7

Складальне креслення подрібнювальної приставки наведено на рис. 3.2. Робочий орган виконаний у вигляді блока барабанів із різальними елементами, розміщених у корпусі приставки. Матеріал подається транспортером кузова до барабанів, захоплюється ножами або зубчастими елементами, перерізається, додатково розпушується і викидається з машини. Наявність кількох барабанів підвищує інтенсивність взаємодії з кормовою масою і зменшує ймовірність утворення зависань. Технологічний процес роботи модернізованої машини викону-

ється у такій послідовності. Грубий корм завантажується у кузов навантажувачем або з місця зберігання. Після вмикання приводу ланцюгово-планчастий транспортер переміщує кормовий шар до задньої частини кузова. У зоні різальної приставки корм захоплюється барабанами, піддається ударно-різальній дії та вивантажується у подрібненому вигляді. Залежно від організації процесу подрібнена маса може подаватися на кормовий майданчик, у приймальний бункер змішувача, у транспортний засіб або тонким шаром у траншею при заготівлі силосу чи сінажу.

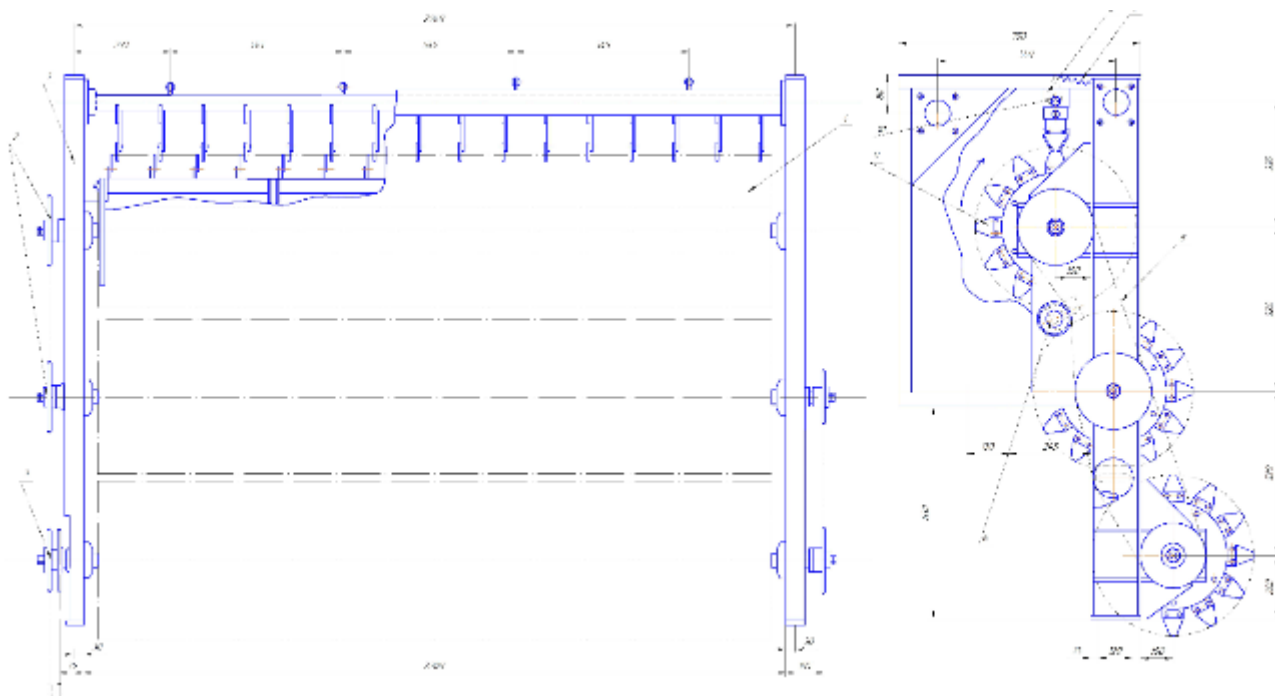


Рисунок 3.2 - Складальне креслення швидкозмінної подрібнювальної приставки

Таблиця 3.1 - Основні конструкційні елементи модернізованої машини

Елемент конструкції	Функціональне призначення	Особливості використання в удосконаленій машині
Рама базової машини	Сприймає масу кузова, корму і робочих органів	Використовується без принципової зміни; потребує перевірки кріплення приставки

Кузов	Накопичення і транспортування кормової маси	Виконує роль буферної ємності та живильника подрібнювача
Ланцюгово-планчастий транспортер	Переміщення маси до задньої частини кузова	Забезпечує регульовану подачу корму до барабанів
Різальна приставка	Подрібнення і розпушування грубих кормів	Встановлюється замість розкидальних робочих органів
Подрібнювальні барабани	Захоплення, різання та викидання кормової маси	Працюють у режимі ударно-різальної взаємодії з кормом
Привід від ВВП трактора	Передавання потужності на транспортер і барабани	Потребує узгодження частоти обертання і передатних чисел
Захисні кожухи	Запобігання викиданню частинок у небезпечну зону	Обов'язкові для безпечної експлуатації машини

Прийнята схема модернізації є раціональною, оскільки не потребує повної зміни базової машини. Удосконалення зосереджується на задньому робочому органі та режимах подачі, тобто на тих вузлах, які безпосередньо визначають якість подрібнення кормів.

3.3 Визначення технологічних параметрів удосконалення

Розрахунок технологічних параметрів виконуємо з урахуванням результатів розділу 2, у якому визначено потребу ферми у кормових компонентах і загальну організацію процесу приготування кормосуміші. Для розроблюваної машини основним розрахунковим показником є продуктивність за грубими та стебловими кормами, які потребують попереднього подрібнення перед завантаженням у кормозмішувач.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку

Показник	Позна-чення	Оди-ниця	Прийняте значення
Добова кількість грубих і стеблових кормів, що потребують підготовки	$G_{\text{доб.гр}}$	т/добу	16,8
Тривалість роботи ділянки підготовки кормів за добу	$T_{\text{п}}$	год	2,5
Коефіцієнт використання робочого часу	$K_{\text{в}}$	-	0,80
Місткість кузова базової машини	$V_{\text{к}}$	м^3	5,3
Розрахункова об'ємна маса грубого корму в кузові	$\rho_{\text{к}}$	$\text{кг}/\text{м}^3$	220
Коефіцієнт заповнення кузова	$\varphi_{\text{к}}$	-	0,85
Робоча ширина подаючого транспортера	$B_{\text{т}}$	м	2,04
Середня товщина шару корму на транспортері	$h_{\text{ш}}$	м	0,025
Коефіцієнт нерівномірності заповнення шару	$\varphi_{\text{т}}$	-	0,75

Необхідну розрахункову продуктивність подрібнювача визначаємо за добовою потребою в кормах, часом роботи ділянки та коефіцієнтом використання робочого часу:

$$Q_p = \frac{G_{\text{доб.гр}}}{T_{\text{п}} K_{\text{в}}} \quad (3.1)$$

де Q_p - розрахункова продуктивність подрібнювача, т/год; $G_{\text{доб.гр}}$ - добова кількість грубих і стеблових кормів, які потребують підготовки, т/добу; $T_{\text{п}}$ - тривалість роботи ділянки підготовки кормів за добу, год; $K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання робочого часу.

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$Q_p = \frac{16,8}{2,5 \cdot 0,80} = 8,4 \text{ т/год.} \quad (3.2)$$

Отже, розрахункова продуктивність модернізованої машини повинна бути не меншою за 8,4 т/год. З урахуванням можливих коливань щільності корму, нерівномірності завантаження та втрат часу на маневрування приймаємо розрахункову паспортну продуктивність 9-10 т/год.

Масу корму, що може бути розміщена у кузові машини, визначаємо за формулою:

$$m_k = \frac{V_k \rho_k \varphi_k}{1000} \quad (3.3)$$

де m_k - маса корму в кузові, т; V_k - геометрична місткість кузова, m^3 ; ρ_k - об'ємна маса корму, $кг/м^3$; φ_k - коефіцієнт заповнення кузова.

Для прийнятих значень:

$$m_k = \frac{5,3 \cdot 220 \cdot 0,85}{1000} = 0,99 \text{ т.} \quad (3.4)$$

Отримане значення стосується середньої об'ємної маси грубого корму після розпушування. Для соломи і сіна фактична маса завантаження буде меншою, а для сінажу та силосу - більшою. Тому в технологічній лінії кузов модернізованого ПРТ-7 доцільно розглядати не лише як транспортну ємність, а насамперед як буферний живильник, який забезпечує рівномірне надходження маси до подрібнювальної приставки.

Кількість завантажень кузова для добової підготовки корму визначаємо так:

$$n_3 = \frac{G_{\text{доб.гр}}}{m_k} \quad (3.5)$$

де n_3 - кількість завантажень кузова за добу.

$$n_3 = \frac{16,8}{0,99} = 16,97. \quad (3.6)$$

Отже, для середньої щільності 220 кг/м^3 потрібно орієнтовно 17 завантажень. Якщо машина працює з більш щільним сінажем або силосом, кількість за-

вантажень зменшується. Це підтверджує доцільність використання машини переважно в режимі мобільного живильника-подрібнювача, що працює поблизу місця зберігання кормів або безпосередньо в складі лінії підготовки кормосуміші.

Продуктивність ланцюгово-планчастого транспортера, який подає корм до барабанів, визначаємо за площею перерізу шару, швидкістю його переміщення та об'ємною масою корму:

$$Q_T = 3,6 B_T h_{\text{ш}} v_T \rho_k \varphi_T \quad (3.7)$$

де Q_T - продуктивність подаючого транспортера, т/год; B_T - робоча ширина транспортера, м; $h_{\text{ш}}$ - середня товщина шару корму, м; v_T - швидкість руху транспортера, м/с; ρ_k - об'ємна маса корму, кг/м³; φ_T - коефіцієнт нерівномірності заповнення шару.

Звідси необхідна швидкість подаючого транспортера:

$$v_T = \frac{Q_p}{3,6 B_T h_{\text{ш}} \rho_k \varphi_T} \quad (3.8)$$

$$v_T = \frac{8,4}{3,6 \cdot 2,04 \cdot 0,025 \cdot 220 \cdot 0,75} = 0,28 \text{ м/с.} \quad (3.9)$$

Приймаємо робочу швидкість ланцюгово-планчастого транспортера $v_T = 0,28$ м/с. Така швидкість забезпечує продуктивність, достатню для узгодження роботи транспортера з різальною приставкою.

3.4 Визначення кінематичних параметрів

Кінематичні параметри удосконаленої машини повинні забезпечувати дві умови: рівномірну подачу кормової маси до робочого органа та достатню колову швидкість барабанів для ефективного різання і викидання матеріалу. За основу приймаємо привід від вала відбору потужності трактора з частотою обертання $n_{\text{ВОМ}} = 540 \text{ хв}^{-1}$.

Колову швидкість подрібнювального барабана визначаємо за формулою:

$$u_6 = \frac{\pi D_6 n_6}{60} \quad (3.10)$$

де u_6 - колова швидкість барабана, м/с; D_6 - діаметр барабана по кінцях різальних елементів, м; n_6 - частота обертання барабана, хв^{-1} .

Для подрібнення грубих кормів приймаємо робочу колову швидкість $u_6 = 24$ м/с. За діаметра барабана $D_6 = 0,52$ м необхідна частота обертання становить:

$$n_6 = \frac{60 u_6}{\pi D_6} \quad (3.11)$$

$$n_6 = \frac{60 \cdot 24}{3,14 \cdot 0,52} = 881,5 \text{ хв}^{-1}. \quad (3.12)$$

Приймаємо стандартне розрахункове значення $n_6 = 900 \text{ хв}^{-1}$. При цьому фактична колова швидкість дорівнюватиме:

$$u_6 = \frac{3,14 \cdot 0,52 \cdot 900}{60} = 24,5 \text{ м/с}. \quad (3.13)$$

Умовну подачу корму на один різальний вплив визначаємо за формулою:

$$s = \frac{60 v_T}{z_H n_6} \quad (3.14)$$

де s - умовна подача матеріалу на один різальний вплив, м; z_H - кількість активних рядів ножів або різальних елементів, які взаємодіють з кормом за один оберт; n_6 - частота обертання барабана, хв^{-1} .

За $v_T = 0,28$ м/с, $z_H = 2$ і $n_6 = 900 \text{ хв}^{-1}$:

$$s = \frac{60 \cdot 0,28}{2 \cdot 900} = 0,0093 \text{ м} = 9,3 \text{ мм}. \quad (3.15)$$

Отримана величина характеризує інтенсивність взаємодії матеріалу з різальними елементами, а не фактичну довжину всіх частинок. Реальна довжина подрібненого корму залежить від вологості, орієнтації стебел, зазору між барабанами і протирізальними елементами, форми ножів та повторності ударів. Для кормосумішей ВРХ доцільно забезпечити переважання частинок орієнтовно 30-80 мм, що зберігає структурність грубого корму і водночас полегшує змішування [21, 22].

Частоту обертання ведучої зірочки транспортера визначаємо за формулою:

$$n_{\text{зір}} = \frac{60v_{\text{т}}}{\pi d_{\text{зір}}} \quad (3.16)$$

де $n_{\text{зір}}$ - частота обертання ведучої зірочки транспортера, хв^{-1} ; $d_{\text{зір}}$ - розрахунковий діаметр зірочки, м.

За $d_{\text{зір}} = 0,18$ м:

$$n_{\text{зір}} = \frac{60 \cdot 0,28}{3,14 \cdot 0,18} = 29,7 \text{ хв}^{-1}. \quad (3.17)$$

Передатні відношення приводу барабана і транспортера визначаємо за формулами:

$$i_{\text{б}} = \frac{n_{\text{б}}}{n_{\text{ВОМ}}}, \quad i_{\text{т}} = \frac{n_{\text{ВОМ}}}{n_{\text{зір}}}. \quad (3.18)$$

де $i_{\text{б}}$ - передатне відношення приводу подрібнювального барабана; $i_{\text{т}}$ - передатне відношення приводу подаючого транспортера; $n_{\text{ВОМ}}$ - частота обертання вала відбору потужності трактора, хв^{-1} .

$$i_{\text{б}} = \frac{900}{540} = 1,67; \quad i_{\text{т}} = \frac{540}{29,7} = 18,2. \quad (3.19)$$

Таким чином, для барабанів необхідний підвищувальний ступінь приводу, а для транспортера - понижувальний. Регулювання швидкості транспортера доцільно передбачити ступінчастим або безступінчастим, оскільки зміна подачі є основним способом адаптації машини до різної вологості та щільності корму.

3.5 Визначення конструкційних параметрів

Основними конструкційними параметрами подрібнювальної приставки є робоча ширина, кількість барабанів, діаметр барабана, довжина барабана, зазор у зоні різання, параметри різальних елементів і діаметр вала. Від цих параметрів залежать захват машини, пропускна здатність, рівномірність подрібнення та надійність роботи приводу.

Робочу ширину подрібнювальної приставки приймаємо відповідно до внутрішньої ширини кузова і ширини ланцюгово-планчастого транспортера. За кресленням загальна ширина базової машини становить 2500 мм, а робоча ширина зони подачі орієнтовно 2040-2200 мм. Для розрахунку приймаємо $B_p = 2,20$ м.

За трьох подрібнювальних барабанів розрахункову довжину одного барабана визначаємо так:

$$b_6 = \frac{B_p}{z_6} \quad (3.20)$$

де b_6 - розрахункова довжина одного барабана, м; B_p - робоча ширина приставки, м; z_6 - кількість барабанів за шириною або робочих секцій.

$$b_6 = \frac{2,20}{3} = 0,73 \text{ м.} \quad (3.21)$$

Приймаємо довжину одного барабана $b_6 = 0,75$ м. Така довжина відповідає можливості розміщення трьох секцій у межах ширини кузова з урахуванням бокових опор, зазорів і корпусу приставки.

Площу перерізу шару корму, який подається до різальної приставки, визначаємо за формулою:

$$A_{ш} = B_T h_{ш} \quad (3.22)$$

де $A_{ш}$ - площа перерізу шару корму, м^2 ; B_T - робоча ширина транспортера, м; $h_{ш}$ - товщина шару корму, м.

$$A_{ш} = 2,04 \cdot 0,025 = 0,051 \text{ м}^2. \quad (3.23)$$

Розрахунковий крутний момент на валу барабана визначаємо через потужність і частоту обертання:

$$M_6 = \frac{9550 P_6}{n_6} \quad (3.24)$$

де M_6 - крутний момент на валу барабана, $\text{Н} \cdot \text{м}$; P_6 - розрахункова потужність на барабані, кВт; n_6 - частота обертання барабана, хв^{-1} .

Для попереднього конструкційного розрахунку приймаємо $P_6 = 17,2$ кВт, що відповідає сумарній розрахунковій потужності робочого процесу з урахуванням запасу.

Таблиця 3.3 - Основні прийняті конструкційні параметри
подрібнювальної приставки

Параметр	Позначення	Розрахункове або прийняте значення
Робоча ширина приставки	B_p	2,20 м
Кількість робочих барабанів	z_6	3
Довжина одного барабана	b_6	0,75 м
Діаметр барабана по кінцях різальних елементів	D_6	0,52 м
Частота обертання барабана	n_6	900 хв ⁻¹
Колова швидкість барабана	u_6	24,5 м/с
Швидкість подаючого транспортера	v_T	0,28 м/с
Розрахунковий діаметр вала	d_B	28,6 мм
Прийнятий діаметр вала	$d_{B.пр}$	35 мм

Тоді:

$$M_6 = \frac{9550 \cdot 17,2}{900} = 182,5 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.25)$$

Мінімальний діаметр вала за умовою міцності на кручення визначаємо за формулою:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16M_6 \cdot 10^3}{\pi[\tau]}} \quad (3.26)$$

де d_b - розрахунковий діаметр вала, мм; M_6 - крутний момент, Н·м; $[\tau]$ - допустиме напруження кручення, МПа.

За $[\tau] = 40$ МПа:

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 182,5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 40}} = 28,6 \text{ мм.} \quad (3.27)$$

З урахуванням шпонкових пазів, динамічних навантажень, можливих ударів від нерівномірної кормової маси та потреби у технологічному запасі приймаємо діаметр вала $d_b = 35$ мм.

Прийняті параметри забезпечують достатню пропускну здатність машини і можливість її використання у лінії підготовки кормосуміші. Найбільш відповідальними конструкційними елементами є вузли кріплення приставки до рами, опори барабанів, приводні ланцюги або паси та захисні кожухи. Ці елементи повинні бути розраховані з урахуванням ударного характеру навантаження, нерівномірності подачі та можливого потрапляння ущільнених грудок корму.

3.6 Визначення енергоємності

Енергоємність процесу подрібнення визначається витратами енергії на різання і розривання стеблової маси, подолання тертя під час подачі, розгін частинок у зоні викидання та втрати в передачах. Для практичного інженерного розрахунку сумарну потужність доцільно визначати за питомою енергоємністю подрібнення і продуктивністю машини.

Потужність, необхідну безпосередньо на подрібнення корму, визначаємо за формулою:

$$P_{\text{різ}} = \frac{q_p Q_p}{3,6 \eta_p} \quad (3.28)$$

де $P_{\text{різ}}$ - потужність на подрібнення, кВт; $q_{\text{п}}$ - питома енергоємність подрібнення, кДж/кг; $Q_{\text{р}}$ - продуктивність подрібнювача, т/год; $\eta_{\text{р}}$ - коефіцієнт корисної дії різально-приводного механізму.

Для грубих кормів у попередньому розрахунку приймаємо $q_{\text{п}} = 4,0$ кДж/кг, $Q_{\text{р}} = 8,4$ т/год, $\eta_{\text{р}} = 0,85$. Тоді:

$$P_{\text{різ}} = \frac{4,0 \cdot 8,4}{3,6 \cdot 0,85} = 10,98 \text{ кВт.} \quad (3.29)$$

Потужність на переміщення корму ланцюгово-планчастим транспортером визначаємо через тягове зусилля і швидкість руху:

$$P_{\text{т}} = \frac{F_{\text{т}} v_{\text{т}}}{1000 \eta_{\text{т}}} \quad (3.30)$$

де $P_{\text{т}}$ - потужність на привід транспортера, кВт; $F_{\text{т}}$ - тягове зусилля транспортера, Н; $v_{\text{т}}$ - швидкість руху транспортера, м/с; $\eta_{\text{т}}$ - коефіцієнт корисної дії приводу транспортера.

Для прийнятого конструкційного виконання і невеликої швидкості руху транспортера приймаємо $P_{\text{т}} = 1,5$ кВт. Тоді тягове зусилля, яке відповідає цій потужності, становить:

$$F_{\text{т}} = \frac{1000 P_{\text{т}} \eta_{\text{т}}}{v_{\text{т}}} \quad (3.31)$$

$$F_{\text{т}} = \frac{1000 \cdot 1,5 \cdot 0,85}{0,28} = 4554 \text{ Н.} \quad (3.32)$$

Отримане значення слід використовувати для попереднього вибору ланцюгів, зірочок і елементів кріплення планок транспортера. Сумарну потужність приводу машини визначаємо з урахуванням потужності на подрібнення, подачу, холостий хід і запасу на нерівномірність навантаження:

$$P_{\Sigma} = (P_{\text{різ}} + P_{\text{т}} + P_0) K_{\text{зп}} \quad (3.33)$$

де P_{Σ} - сумарна розрахункова потужність, кВт; P_0 - потужність холостого ходу і допоміжних механізмів, кВт; $K_{\text{зп}}$ - коефіцієнт запасу потужності.

За $P_{\text{різ}} = 10,98$ кВт, $P_{\text{т}} = 1,5$ кВт, $P_0 = 2,5$ кВт і $K_{\text{зп}} = 1,15$:

$$P_{\Sigma} = (10,98 + 1,50 + 2,50) \cdot 1,15 = 17,23 \text{ кВт.} \quad (3.34)$$

Силу взаємодії різальних елементів з кормовою масою можна орієнтовно визначити за потужністю різання і коловою швидкістю барабана:

$$F_{\text{різ}} = \frac{1000 P_{\text{різ}}}{u_6} \quad (3.35)$$

де $F_{\text{різ}}$ - сумарна сила різання, Н; $P_{\text{різ}}$ - потужність на подрібнення, кВт; u_6 - колова швидкість барабана, м/с.

$$F_{\text{різ}} = \frac{1000 \cdot 10,98}{24,5} = 448 \text{ Н.}$$

За результатами розрахунку сумарна потужність, необхідна для роботи удосконаленого подрібнювача, становить приблизно 17,2 кВт. З урахуванням пускових режимів, нерівномірності подачі, можливого ущільнення корму і втрат у трансмісії потужність трактора на валу відбору потужності доцільно приймати з запасом не менше 30 кВт. Це дозволяє використовувати машину з тракторами поширеного тягового класу, не перевантажуючи двигун під час роботи з більш вологим або ущільненим кормом.

3.7 Робота удосконаленої машини в технологічній лінії

Удосконалений мобільний подрібнювач грубих кормів призначений для роботи у складі технологічної лінії приготування кормосуміші. Перед початком роботи оператор перевіряє технічний стан машини, надійність кріплення подрібнювальної приставки, натяг приводних передач, справність захисних кожухів і відсутність сторонніх предметів у кузові. Після агрегування з трактором та підключення карданного приводу виконується пробне вмикання на холостому ходу.

Під час роботи корм завантажується у кузов рівномірно по довжині. Не рекомендується створювати надмірно високий ущільнений шар у задній частині кузова, оскільки це призводить до різкого збільшення навантаження на барабани.

Після вмикання ВВП трактора запускають подрібнювальні барабани, а потім подаючий транспортер. Швидкість транспортера встановлюють так, щоб барабани працювали без перевантаження, а подрібнена маса виходила стабільним потоком.

У складі лінії приготування кормів машина може виконувати дві основні функції. Перша функція - попереднє подрібнення сіна, соломи або сінажу перед завантаженням у кормозмішувач. У цьому випадку подрібнена маса спрямовується у приймальний бункер або безпосередньо на майданчик завантаження змішувача. Друга функція - транспортування і розпушування корму з подачею у технологічну зону, наприклад під час формування шарів силосу або сінажу в траншеї. У весняно-осінній період після демонтажу приставки машина може знову застосовуватися як розкидач органічних добрив.

Таблиця 3.4 - Показники роботи удосконаленої машини

Показник	Розрахункове або прийняте значення	Технологічне значення
Продуктивність за грубими кормами	8,4-10,0 т/год	Узгоджується з потребою ферми у підготовці кормів
Швидкість подаючого транспортера	0,28 м/с	Забезпечує стабільну подачу до барабанів
Частота обертання барабанів	900 хв ⁻¹	Забезпечує колову швидкість близько 24,5 м/с
Орієнтовна довжина частинок	30-80 мм	Придатна для змішування у TMR зі збереженням структурності
Розрахункова сумарна потужність	17,2 кВт	Не перевищує можливостей тракторного приводу
Рекомендована потужність трактора на ВВП	не менше 30 кВт	Забезпечує запас на нерівномірне навантаження
Основний ефект модернізації	розширення функцій ПРТ-7	Підвищення коефіцієнта використання машини протягом року

Перевагою запропонованого удосконалення є те, що воно не потребує повної заміни машини або придбання окремого дорогого подрібнювача. Базове шасі, кузов і транспортер ПРТ-7 використовуються повторно, а функціональність машини розширюється за рахунок змінного робочого органу. Це особливо доцільно для господарств, де є наявні причіпні розкидачі, але відсутня достатня кількість машин для підготовки грубих кормів.

3.8 Висновки

У розділі розроблено варіант удосконалення причіпної машини ПРТ-7, який полягає у встановленні швидкозмінної подрібнювальної приставки замість базових розкидальних робочих органів. Запропоноване рішення дозволяє використовувати машину не лише для внесення органічних добрив, а й у технологічній лінії підготовки грубих кормів для ВРХ.

Обґрунтовано конструкційно-технологічну схему модернізації, за якої кузов машини виконує функцію буферної ємності, ланцюгово-планчастий транспортер забезпечує регульовану подачу корму, а задня різальна приставка здійснює подрібнення і розпушування маси. Схему удосконалення підтверджено кресленнями загального вигляду та складальної одиниці.

Визначено технологічні параметри удосконаленої машини. Розрахункова продуктивність за грубими кормами становить 8,4 т/год, а з урахуванням експлуатаційного запасу прийнято продуктивність 9-10 т/год. Для забезпечення такої продуктивності швидкість ланцюгово-планчастого транспортера прийнято 0,28 м/с.

Виконано кінематичний розрахунок подрібнювальних барабанів. За діаметра барабана 0,52 м і частоти обертання 900 хв^{-1} колова швидкість становить 24,5

м/с, що є достатнім для ударно-різальної взаємодії з грубими кормами. Передатне відношення приводу барабанів становить 1,67, а приводу транспортера - близько 18,2.

Розраховано основні конструкційні та енергетичні параметри. Прийнята робоча ширина приставки становить 2,20 м, кількість барабанів - 3, довжина одного барабана - 0,75 м, прийнятий діаметр вала - 35 мм. Сумарна розрахункова потужність приводу становить 17,2 кВт, тому для надійної роботи машини доцільно використовувати трактор із потужністю на ВВП не менше 30 кВт.

Отже, запропоноване удосконалення є технічно доцільним, оскільки забезпечує підготовку грубих кормів до змішування, підвищує річне завантаження базової машини ПРТ-7 і сприяє підвищенню нерозривності технологічного процесу приготування та роздавання кормів на фермі ВРХ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роздаванні кормів

Роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби є механізованою операцією, під час якої одночасно використовують трактори, причіпні кормороздавачі, навантажувачі, транспортери, подрібнювальні та змішувальні робочі органи. Небезпека процесу пов'язана з рухом агрегату в кормових проходах, роботою приводів і карданних передач, можливістю затягування одягу рухомими деталями, викиданням частинок корму або сторонніх предметів, запиленістю повітря, шумом і вібрацією.

Організація робіт повинна відповідати вимогам Закону України «Про охорону праці», згідно з яким роботодавець забезпечує безпечні умови праці, навчання працівників, справність обладнання і контроль за виконанням вимог безпеки [24]. Під час робіт у тваринництві та експлуатації сільськогосподарських машин необхідно керуватися Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затвердженими наказом Мінсоцполітики України № 1240 [25].

До самостійної роботи з машинами для підготовки та роздавання кормів допускають осіб, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж, навчання безпечним прийомам праці та перевірку знань. Оператор повинен знати будову машини, призначення органів керування, небезпечні зони, порядок агрегування з трактором, запуску, зупинки, очищення і технічного обслуговування.

Перед початком роботи перевіряють справність трактора і кормороздавачного агрегату, надійність зчеплення, стан гальм, освітлення, сигналізації, карданного вала, гідравлічної системи, захисних кожухів, ланцюгових передач, транспортерів і робочих органів. Робота зі знятими або пошкодженими огороженнями не допускається. У зоні руху агрегату не повинно бути сторонніх осіб, інструменту, тари, кормових залишків, що можуть ускладнити маневрування.

Під час завантаження кормів необхідно запобігати потраплянню в масу каміння, металевих предметів, дроту, деревини та інших домішок. Такі предмети можуть спричинити поломку ножів або барабанів, пошкодження транспортера, різке зростання навантаження на привід і травмування працівників частинками, що вилітають із робочої зони.

Під час роздавання кормів агрегат повинен рухатися з безпечною швидкістю, яка забезпечує рівномірне вивантаження корму та можливість своєчасного гальмування. Оператор зобов'язаний подавати попереджувальний сигнал перед початком руху, в'їздом у приміщення, поворотом або наближенням до місць перебування людей і тварин. Забороняється перебування працівників у кузові, на дишлі, рамі, біля вивантажувального вікна або між трактором і машиною.

Очищення, регулювання, змащування, підтягування кріплень і усунення забивання виконують лише після повної зупинки агрегату, вимкнення вала відбору потужності, зупинки двигуна трактора та унеможливлення випадкового запуску. Очищати транспортер, подрібнювальні барабани або вивантажувальний канал руками забороняється; для цього використовують спеціальні скребки, гаки або інший штатний інструмент.

Працівники повинні користуватися спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, а за умов запиленості - респіраторами та захисними окулярами. Вибір і застосування засобів індивідуального захисту здійснюють відповідно до мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні ЗІЗ на робочому місці [26]. У місцях зберігання сіна, соломи і комбікормів необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки, не допускати відкритого вогню, несправної електропроводки та перегрівання підшипникових вузлів [27].

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора подрібнювача

До роботи на удосконаленому мобільному подрібнювачі грубих кормів допускається оператор, який має необхідну підготовку, пройшов інструктаж з охорони праці, знає будову машини, правила агрегування з трактором і порядок

роботи з валом відбору потужності. Оператор повинен виконувати тільки доручену роботу та не передавати керування агрегатом стороннім особам.

Удосконалений подрібнювач призначений для транспортування, подачі та подрібнення сіна, соломи, сінажу й інших грубих кормів. Основними небезпечними зонами є подрібнювальні барабани, різальні елементи, ланцюгово-планчастий транспортер, карданна передача, привідні ланцюги, зчіпний пристрій і зона вивантаження подрібненого корму. Оператор повинен працювати у справному спецодязі без звисаючих частин; волосся має бути прибрано під головний убір.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи оператор повинен оглянути подрібнювач і переконатися у справності рами, кузова, опорних коліс, дишла, причіпного пристрою, захисних кожухів, привідних передач, підшипникових вузлів, подрібнювальних барабанів і транспортера. Окремо перевіряють надійність кріплення ножів, відсутність тріщин, деформацій і сторонніх предметів у кузові та зоні подрібнення.

Агрегатування з трактором виконують на рівному майданчику, без перебування людей між трактором і причіпним пристроєм. Після зчеплення перевіряють фіксацію пальця, справність запобіжних елементів, кріплення карданного вала, наявність його захисного кожуха, підключення гідравлічних рукавів і відсутність підтікання робочої рідини. Перед завантаженням корму оператор повинен переконатися, що маса не містить металу, каміння, дроту та інших домішок.

Вимоги безпеки під час роботи

Запуск робочих органів виконують тільки після попереджувального сигналу і перевірки відсутності людей у небезпечній зоні. Вал відбору потужності вмикають плавно, на мінімальній частоті обертання двигуна, після чого поступово встановлюють робочий режим. Різде вмикання приводу при заповненому кузові забороняється, оскільки це створює ударні навантаження на трансмісію, ланцюгові передачі та різальні барабани.

Під час роботи оператор контролює рівномірність подачі корму, якість подрібнення, роботу транспортера, відсутність стороннього шуму, підвищеної вібрації, перегріву підшипників і запаху горілої мастильної речовини. У разі появи

незвичних звуків, різкого збільшення навантаження, зупинки транспортера, забивання робочих органів або погіршення якості подрібнення агрегат необхідно негайно зупинити.

Під час руху агрегату забороняється стояти на рамі, у кузові, на дишлі, біля вивантажувального вікна або поруч із подрібнювальними барабанами. Не допускається підштовхування корму руками, ногами, вилами чи іншими предметами під час обертання робочих органів. У разі забивання оператор зупиняє трактор, вимикає вал відбору потужності, глушить двигун, чекає повної зупинки барабанів і лише після цього очищає машину спеціальним інструментом.

Під час роботи в закритих приміщеннях або на критих майданчиках необхідно забезпечити провітрювання і достатню оглядовість. За значного пиловиділення застосовують респіратор та окуляри. У зоні роботи подрібнювача забороняється палити, користуватися відкритим вогнем, зберігати легкозаймисті матеріали або виконувати зварювальні роботи без спеціального дозволу.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення роботи агрегат встановлюють на рівному майданчику, вимикають робочі органи, зупиняють двигун трактора, фіксують машину стоянковим гальмом або противідкотними упорами. Після повної зупинки рухомих деталей очищають кузов, транспортер, подрібнювальну приставку і вивантажувальний канал від залишків корму.

Технічне обслуговування, змащування, підтягування різьбових з'єднань, перевірку ножів і огляд привідних ланцюгів проводять тільки при вимкненому агрегаті. Виявлені несправності записують у журнал або повідомляють відповідальній особі. Повторний запуск машини дозволяється лише після усунення дефектів, що можуть вплинути на безпеку праці.

Дії в аварійних ситуаціях

У разі поломки барабана, обриву ланцюга, пошкодження карданної передачі, витікання гідравлічної рідини, загоряння корму або травмування працівника оператор повинен негайно припинити роботу, вимкнути вал відбору потужності.

жності, зупинити трактор і повідомити керівника робіт. За потреби необхідно надати домедичну допомогу потерпілому та викликати медичних працівників або пожежно-рятувальну службу.

Гасіння загоряння виконують первинними засобами пожежогасіння лише тоді, коли це не створює загрози для життя. Повторний запуск подрібнювача після аварійної зупинки допускається тільки після встановлення причини несправності, її повного усунення та контрольного огляду машини.

4.3 Висновки

У розділі визначено основні вимоги охорони праці під час роздавання кормів на фермі ВРХ та роботи з удосконаленим мобільним подрібнювачем грубих кормів. Головними небезпечними чинниками є рухомі робочі органи, привідні передачі, карданний вал, транспортер, зона вивантаження, рух агрегату в кормових проходах, запиленість, шум, вібрація і можливість потрапляння сторонніх предметів у кормову масу.

Запропонована інструкція встановлює порядок безпечної підготовки машини до роботи, запуску, експлуатації, очищення, технічного обслуговування та дій у разі аварії. Дотримання цих вимог знижує ризик травмування оператора, підвищує надійність технологічного процесу підготовки і роздавання кормів та забезпечує належні умови праці на фермі.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

5.1 Вихідні дані

Економічну оцінку розробленого удосконалення виконано для визначення доцільності використання модернізованого мобільного подрібнювача грубих кормів на базі ПРТ-7 у технологічній лінії підготовки та роздавання кормів на фермі ВРХ. Оцінювання проведено методом порівняння двох варіантів: базового, за якого підготовка грубих кормів виконується окремим подрібнювачем із додатковими перевантаженнями, та удосконаленого, за якого наявний ПРТ-7 обладнується швидкозмінною подрібнювальною приставкою.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для економічної оцінки

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Технологічна схема	-	Окремий подрібнювач + додаткове перевантаження корму	ПРТ-7 зі швидкозмінною подрібнювальною приставкою
Річний обсяг підготовки грубих кормів	т/рік	5040	5040
Добова кількість корму, що потребує підготовки	т/добу	16,8	16,8
Продуктивність ділянки підготовки	т/год	6,5	8,4
Розрахункова тривалість роботи за рік	год/рік	775	600
Кількість працівників на операції	осіб	2	1
Річні витрати праці	люд.-год/рік	1550	600
Разові капітальні вкладення	грн	620000*	265000
Середня вартість палива та енергоресурсів	грн/л або еквівалент	55	55

* Для базового варіанта в таблиці показано орієнтовну вартість окремого комплексу обладнання, необхідного для виконання аналогічної операції. Для визначення окупності удосконалення враховуються лише додаткові капітальні вкладення у розроблену приставку.

Вихідні дані прийнято відповідно до розрахунків технологічної частини: добова кількість грубих і стеблових кормів, які потребують підготовки, становить 16,8 т, тривалість роботи дільниці - у межах прийнятого технологічного регламенту, а продуктивність удосконаленої машини становить 8,4–10,0 т/год. Економічні показники мають розрахунково-проектний характер і можуть уточнюватися за фактичними цінами на паливо, оплату праці та матеріали у конкретному господарстві [28, 29].

До капітальних вкладень у варіанті удосконалення віднесено виготовлення та монтаж подрібнювальної приставки, доопрацювання приводу, встановлення захисних огорожень, підсилення кріплень і виконання налагоджувальних робіт. Вартість базової машини ПРТ-7 не враховувалася як нове придбання, оскільки передбачається використання наявного шасі господарства.

5.2 Результати економічної оцінки

Порівняння варіантів виконано за основними статтями експлуатаційних витрат: оплата праці з нарахуваннями, паливо та енергоресурси, технічне обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, допоміжні матеріали та інші виробничі витрати. Такий підхід дозволяє оцінити не лише зменшення тривалості роботи, а й комплексний вплив удосконалення на собівартість підготовки корму.

Основний економічний ефект формується за рахунок скорочення кількості перевантажень корму, підвищення продуктивності дільниці, зменшення потреби в одному додатковому працівнику та раціональнішого використання наявного

ПРТ-7 протягом року. Додатковою перевагою є те, що модернізована машина може використовуватися як для подрібнення грубих кормів у кормоцеху, так і для сезонного внесення органічних добрив після демонтажу приставки.

Таблиця 5.2 - Порівняння річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, грн/рік	Удосконалений варіант, грн/рік	Економія, грн/рік
Оплата праці з нарахуваннями	189100	73200	115900
Паливо та енергоресурси	527600	394200	133400
Технічне обслуговування і ремонт	62000	45000	17000
Амортизаційні відрахування	88600	37900	50700
Допоміжні матеріали та інші витрати	20000	16000	4000
Разом експлуатаційні витрати	887300	566300	321000
Питомі витрати на 1 т підготовленого корму	176,1	112,4	63,7

За результатами порівняння річні експлуатаційні витрати у базовому варіанті становлять 887,3 тис. грн, тоді як після впровадження удосконалення - 566,3 тис. грн. Отже, очікувана річна економія становить 321,0 тис. грн. Найбільший

внесок у зменшення витрат забезпечують паливо та енергоресурси, а також оплата праці, оскільки удосконалена машина об'єднує транспортно-подавальну та подрібнювальну операції в одному агрегаті.

Питомі витрати на підготовку 1 т корму зменшуються зі 176,1 до 112,4 грн/т. Скорочення питомих витрат становить 63,7 грн/т, або близько 36 %. Це свідчить про те, що запропоноване технічне рішення не лише підвищує завантаження базової машини ПРТ-7, а й безпосередньо знижує собівартість операції підготовки грубих кормів.

Таблиця 5.3 - Узагальнені результати економічної оцінки

Показник	Значення
Річний обсяг робіт	5040 т/рік
Капітальні вкладення в реалізацію удосконалення	265,0 тис. грн
Річна економія експлуатаційних витрат	321,0 тис. грн/рік
Зменшення питомих витрат	63,7 грн/т
Зниження питомих витрат порівняно з базовим варіантом	близько 36 %
Скорочення річних витрат праці	950 люд.-год/рік
Орієнтовний термін окупності капітальних вкладень	0,83 року, або близько 10 місяців

Отриманий термін окупності менший за один рік, що є прийнятним для внутрішньогосподарського технічного удосконалення. Короткий період повернення вкладених коштів пояснюється відносно невеликою вартістю приставки порівняно з придбанням окремого подрібнювача, а також значним обсягом щоденної підготовки кормів на фермі ВРХ.

Крім прямих економічних результатів, удосконалення має організаційний ефект: зменшується кількість операцій із перевантаження корму, підвищується рівномірність подачі грубих кормів до змішувача, скорочується час підготовки партії та підвищується коефіцієнт використання наявної техніки. Ці чинники позитивно впливають на стабільність процесу годівлі, хоча у наведеній оцінці вони враховані лише частково.

5.3 Висновки

У розділі виконано економічну оцінку розробленого удосконалення мобільного подрібнювача грубих кормів на базі ПРТ-7. Порівняння проведено для двох варіантів: базового, який передбачає використання окремого подрібнювача та додаткові перевантаження корму, і удосконаленого, у якому наявна машина ПРТ-7 обладнується швидкозмінною подрібнювальною приставкою.

За прийнятого річного обсягу робіт 5040 т експлуатаційні витрати зменшуються з 887,3 до 566,3 тис. грн/рік. Річна економія становить 321,0 тис. грн, а питомі витрати на підготовку 1 т корму знижуються на 63,7 грн/т.

Капітальні вкладення в реалізацію удосконалення прийнято на рівні 265,0 тис. грн. Орієнтовний термін їх окупності становить 0,83 року, або близько 10 місяців, що підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Запропоноване удосконалення дозволяє підвищити річне завантаження базової машини ПРТ-7, зменшити трудові та енергетичні витрати, скоротити кількість проміжних операцій і покращити організацію технологічного процесу підготовки та роздавання кормів на фермі ВРХ.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У дипломному проєкті розглянуто питання розробки технологічного процесу роздавання кормів на фермі великої рогатої худоби з удосконаленням технічних засобів підготовки грубих кормів до згодовування. Встановлено, що ефективність годівлі ВРХ значною мірою залежить від нерозривності операцій приготування, транспортування та роздавання кормової суміші.

У першому розділі проаналізовано сучасні технології приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ, вимоги до кормових сумішей та технічні засоби для підготовки грубих кормів. Визначено, що найбільш доцільним напрямом є застосування механізованих технологічних ліній, які забезпечують рівномірність дозування, якісне подрібнення та збереження однорідності кормосуміші.

У другому розділі розроблено технологічну схему процесу роздавання кормів, визначено добову потребу ферми у кормах, продуктивність основних технологічних ділянок, кількість машин і тривалість виконання операцій. Обґрунтовано вибір машин та обладнання для підготовки, транспортування і роздавання кормів.

У третьому розділі запропоновано конструктивне удосконалення машини ПРТ-7 шляхом використання змінної подрібнювальної приставки для грубих кормів. Виконані розрахунки підтвердили можливість використання удосконаленої машини у технологічній лінії приготування кормів, що дозволяє підвищити коефіцієнт використання техніки та розширити її функціональні можливості.

У четвертому розділі розглянуто вимоги охорони праці під час роздавання кормів і роботи з удосконаленим подрібнювачем. Запропонована інструкція для оператора спрямована на зменшення ризику травмування, безпечну експлуатацію рухомих робочих органів, привідних передач і транспортера.

У п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого удосконалення. Встановлено, що впровадження модернізованої машини дозволяє змен-

шити експлуатаційні витрати, скоротити витрати праці та підвищити ефективність використання наявної техніки. Отримані результати свідчать про економічну доцільність запропонованого рішення.

Отже, розроблений технологічний процес і запропоноване удосконалення мобільного подрібнювача грубих кормів забезпечують підвищення якості підготовки кормів, рівномірність їх роздавання, зниження трудомісткості робіт і покращення техніко-економічних показників виробничого процесу на фермі ВРХ.

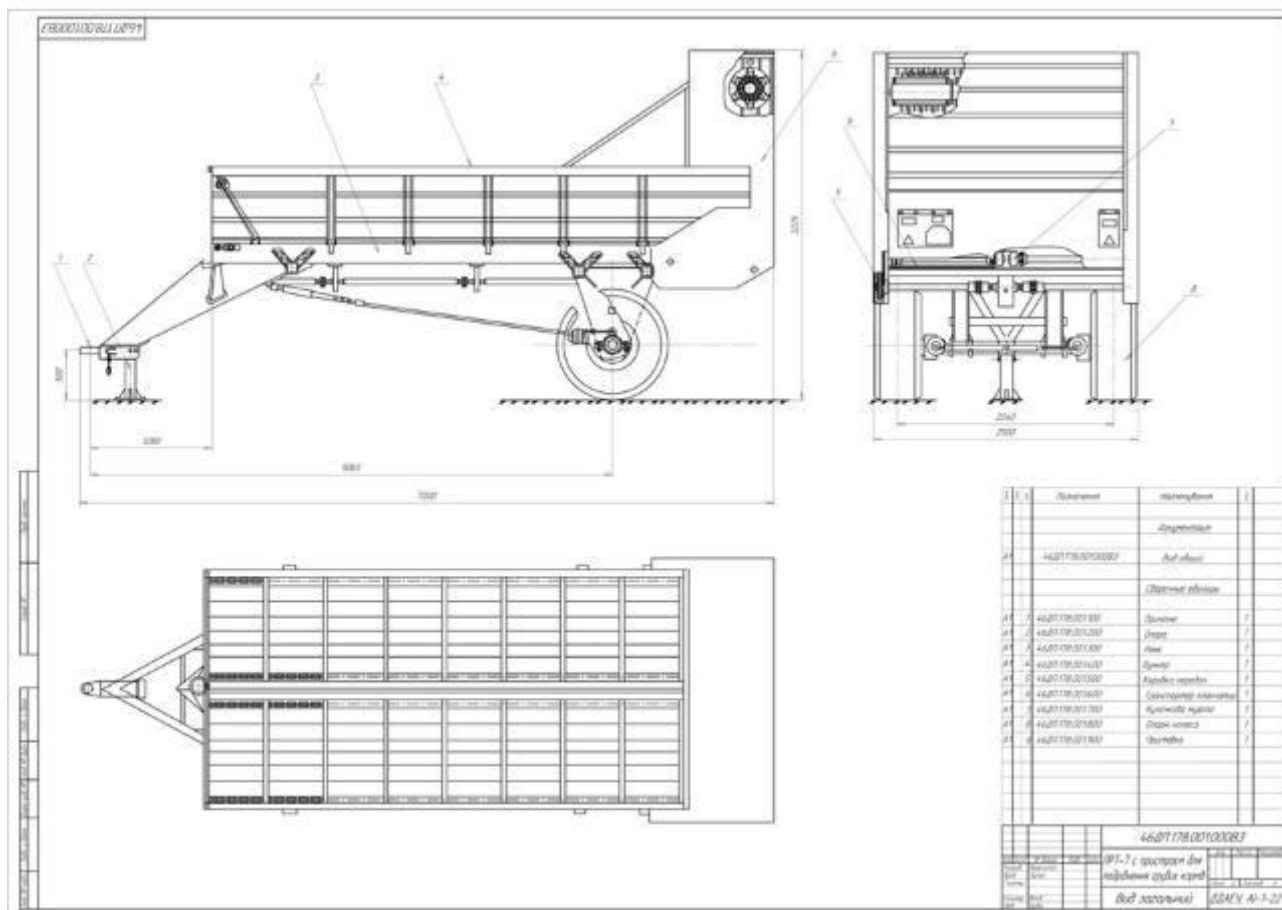
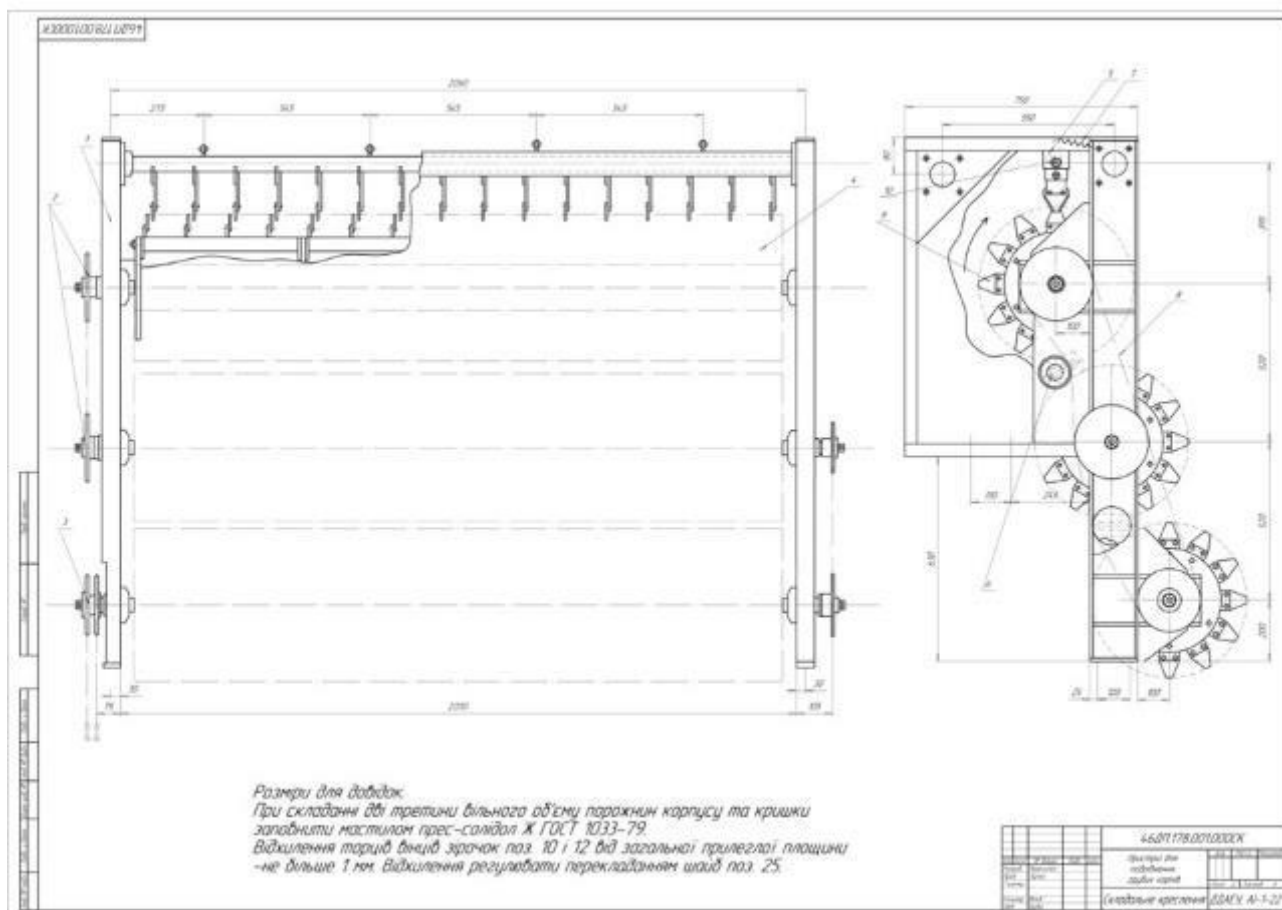
БІБЛІОГРАФІЯ

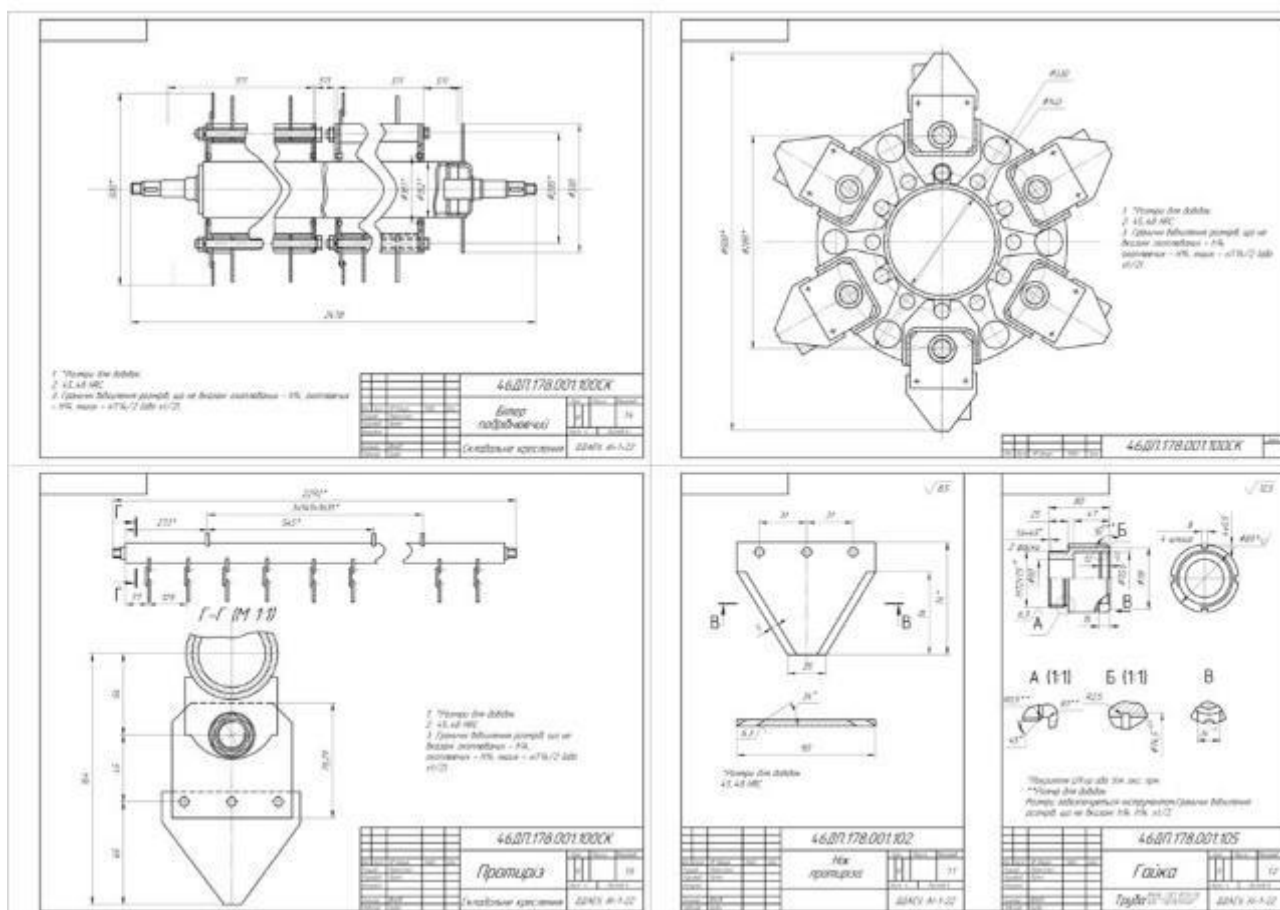
1. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
2. Lammers, B. P., Heinrichs, A. J., & Ishler, V. A. (2023). Total mixed rations for dairy cows. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/total-mixed-rations-for-dairy-cows/>
3. Schingoethe, D. J. (2017). A 100-year review: Total mixed ration feeding of dairy cows. Journal of Dairy Science, 100(12), 10143-10150. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12967>
4. Stokes, S. R. (1997). Particle size and ration uniformity: Is it important to the cow? Western Canadian Dairy Seminar.
5. Yang, W. Z., & Beauchemin, K. A. (2005). Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. Journal of Dairy Science, 88(3), 1090-1098. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72776-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72776-4)
6. KUHN. (n.d.). Trailed TMR mixers. Retrieved May 8, 2026, from <https://www.kuhn.com/en/livestock/trailed-tmr-mixers>
7. Lely. (n.d.). Lely Vector automatic feeding system. Retrieved May 8, 2026, from <https://www.lelyna.com/us/solutions/feeding/vector/>
8. Єгоров, Б. В. (2011). Технологія виробництва комбікормів: підручник. Одеса: Друкарський дім. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/3292>
9. Ревенко, І. І., Брагінець, М. В., & Ревенко, В. І. (2009). Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор.
10. Міністерство аграрної політики України. (2005). ВНТП-АПК-01.05. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). Київ.
11. Lammers, B. P., Heinrichs, A. J., & Ishler, V. A. (2023). Total mixed rations for dairy cows. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/total-mixed-rations-for-dairy-cows/>

12. Costa, A., Agazzi, A., Perricone, V., Savoini, G., Lazzari, M., Nava, S., & Tangorra, F. M. (2019). Influence of different loading levels, cutting and mixing times on total mixed ration (TMR) homogeneity in a vertical mixing wagon during distribution: A case study. *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 1093-1098. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1618742>
13. Trioliet. (2020). Solomix 2 feed mixers: Brochure. https://www.trioliet.com/fileadmin/images/brochures/Mixer_feeders/Solomix_2/TRIO-20-3766-Solomix_2_Brochure_EN_LR-WEB-2020.pdf
14. KUHN. (n.d.). PROFILE 1 DL single-auger mixers. Retrieved May 8, 2026, from <https://www.kuhn.com/en/livestock/trailed-tmr-mixers/single-auger-vertical-mixers/profile-1-dl>
15. Ревенко, І. І., Брагінець, М. В., & Ревенко, В. І. (2009). *Машини та обладнання для тваринництва: підручник*. Київ: Кондор.
16. Техноторг. (б. д.). Гноєрозкидач ПРТ-7 Оріхівсільмаш. <https://technotorg.com/katalog-uk/silgospstekhnika/vnesennia-dobriv/gnoierozkidach-prt-7-orekhivsilmash/>
17. SPD PETROV. (б. д.). Manure spreader PRT.7 Shkval: Technical specifications. <https://petrov.ua/en/catalog/spreading/prt-7.html>
18. АгроТопМаш. (б. д.). Розкидач добрив ПРТ-7: технічна характеристика. <https://agrotopmash.com/uk/product/rozkidach-dobriv-prt-7/>
19. Development chopper device that chops baled rough fodders. (2020). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/343110322_Development_chopper_device_that_chops_baled_rough_fodders
20. Abilzhanuly, T., et al. (2024). Mathematical modeling of the processes of mowing, oriented feeding, and chopping stem fodder by the forage harvester. *AgriEngineering*, 6(4), 273. <https://www.mdpi.com/2624-7402/6/4/273>

21. Belov, M. I. (2019). Precision cut forage harvester chopper units and particle size distribution. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(4). <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/download/5372/3181/0>
22. Ревенко, І. І., Брагінець, М. В., & Ревенко, В. І. (2009). *Машини та обладнання для тваринництва*. Київ: Кондор.
23. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 08.05.2026).
24. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18> (дата звернення: 08.05.2026).
25. Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.11.2018 № 1804. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1494-18> (дата звернення: 08.05.2026).
26. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15> (дата звернення: 08.05.2026).
27. Андрійчук, В. Г. (2013). *Економіка підприємств агропромислового комплексу: підручник*. Київ: КНЕУ.
28. Саблук, П. Т., Месель-Веселяк, В. Я., & Федоров, М. М. (2008). *Економіка виробництва продукції сільського господарства*. Київ: ННЦ «Інститут аграрної економіки».
29. Методичні рекомендації з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції сільськогосподарських підприємств. (2001). Київ: Міністерство аграрної політики України.

ДОДАТКИ





Карта контролю показників безпеки розробленого подрібнювача					
№	Показник безпеки	Що контролюється	Метод контролю	Періодичність	Дії при відхиленні
1	Захисні огороження	Наявність і справність кожухів кардана, ланцюгових передач, барабанів	Візуальний огляд	Перед запуском	Роботу зупинити, огороження відновити
2	Причипний пристрій	Стан зчіпки, пальців, фіксаторів, запобіжного ланцюга	Огляд, перевірка кріплення	Перед роботою	Усунути несправність
3	Карданна передача	Цілісність кожуха, відсутність биття, справність хрестовин	Огляд, пробний пуск	Перед зміною	Замінити або відремонтувати
4	Різальні елементи	Кріплення ножів, зубів, відсутність тріщин і зносу	Огляд, перевірка затяжки	Перед зміною	Підтягнути або замінити
5	Подрібнювальні барабани	Відсутність деформацій, перекосу, сторонніх шумів	Огляд, контроль обертання	Перед роботою	Зупинити машину, провести ремонт
6	Транспортер	Натяг ланцюгів, стан планок і зірочок	Огляд, пробний запуск	Перед запуском	Відрегулювати або замінити елементи
7	Підшипникові вузли	Нагрівання, шум, люфт	Огляд, контроль температури	Під час роботи	Змастити або замінити підшипник
8	Сторонні предмети в кормі	Відсутність металу, каміння, дроту, деревини	Візуальний контроль	Під час завантаження	Видалити сторонні предмети
9	Безпека робочої зони	Відсутність людей біля барабанів, транспортера і зони вивантаження	Візуальне спостереження	Постійно	Зупинити агрегат, вивести людей
10	Засоби індивідуального захисту	Наявність спецодягу, рукавиць, окулярів, респіратору	Візуальний контроль	Перед роботою	Не допускати до роботи без ЗІЗ

46.01.178.001.00000

Опорука праці

46.01.178.001.00000

Формат	Знач	Лист	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			46ДП.178.000.000.СК.	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	ДП.01.06.01.000.СК.	Фланець	2	
				<u>Деталі</u>		
		2	46ДП.178.000.001.	Диск	8	
		3	46ДП.178.000.002.	Вал	2	
		4	46ДП.178.000.003.	Стакан	4	
		5	46ДП.178.000.004.	Ніж	16	
		6	46ДП.178.000.005.	Зуб	16	
		7	46ДП.178.000.006.	Кронштейн	16	
		8	46ДП.178.000.007.	Труба	1	
		9	46ДП.178.000.008.	Ось	6	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		10		Гайка М16-6-Н.6.019 ГОСТ 5915-70	24	
		11		Шайба 16.65Г.019 ГОСТ 6402-70	24	
				46ДП.178.000.000.СК.		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<div><div>Лит.</div><div>Арк.</div><div>Аркушів</div></div> <div><div>у</div><div></div><div></div></div> <div>ДДАЕУ, АІ-1-22</div>	
Розроб.	Пересилка					
Керівн.	Лупка					
Консульт.						
Н. контр.	Івлєв					
Зав. каф.	Дудін					
Подрібнювальний бітер						

