

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних  
параметрів кормороздавача для великої рогатої худоби**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Інгор Іван Сергійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Білоус Ілля Михайлович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Рівень вищої освіти: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Інгор Іван Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів кормороздавача для великої рогатої худоби

керівник роботи: Білоус Ілля Михайлович, доктор філософії

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«24» жовтня 2025 року № 3182

**2. Строк подання студентом роботи** 12.12.2025 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача-роздавача кормів. 3. Експериментальні дослідження змішувача-роздавача кормів. 4. Охорона праці. 5. Економічне порівняння технологій роздавання кормів. Загальні висновки. Бібліографічний список

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (4 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Білоус І.М., ст. викл.		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.10.2025 р. .

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 09.11. 2025 р.	
4	Охорона праці	до 19.11. 2025 р.	
5	Економічний	до 26.11. 2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11. 2025 р.	

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Інгор І.С.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Білоус І.М.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)



Інгор І.С. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів кормороздавача для великої рогатої худоби /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дипломна робота присвячена підвищенню ефективності приготування та роздавання кормових сумішей на малих фермах великої рогатої худоби шляхом удосконалення шнекового роздавача-змішувача кормів. Проаналізовано існуючі технічні засоби, обґрунтовано конструктивно-технологічну схему бункерного роздавача зі шнековим подрібнювально-змішувальним робочим органом. Отримано теоретичні залежності для розрахунку основних параметрів шнека, проведено багатофакторні експериментальні дослідження, за результатами яких визначено раціональні режими роботи, що забезпечують виконання зоотехнічних вимог при зниженні енергоємності процесу. Виконано оцінку безпеки експлуатації та економічне обґрунтування, яке підтверджує доцільність впровадження удосконаленого роздавача-змішувача на малих фермах ВРХ.

Ключові слова: роздавач-змішувач кормів, шнековий робочий орган, повнорационна суміш, малі ферми ВРХ, енергоємність, економічна ефективність.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз стану питання і завдання дослідження	11
1.1 Аналіз потоково-технологічних приготування кормів на фермах великої рогатої худоби	11
1.2 Аналіз технічних засобів приготування кормів на фермах великої рогатої худоби	14
1.3 Висновки	31
2 Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача-роздавача кормів	33
2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми змішувача-роздавача кормів	33
2.2 Аналіз роботи подрібнювально-змішувального робочого органу та обґрунтування його параметрів	35
2.3 Визначення частоти обертання ножового шнекового апарата	39
2.4 Висновки	43
3 Експериментальні дослідження змішувача-роздавача кормів	45
3.1 Програма та завдання експериментальних досліджень	45
3.2 Опис експериментальної установки	46
3.3 Результати експериментальних досліджень	49
3.4 Висновки	55
4 Охорона праці	56
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роздаванні кормів на фермах ВРХ	56
4.2 Оцінка з точки зору охорони праці розробленого кормороздавача	57

4.3 Проект інструкції з охорони праці оператора розробленого кормороздавача	58
4.4 Висновки	59
5 Економічне порівняння технологій роздавання кормів	61
5.1 Вихідні дані для розрахунків	61
5.2 Результати розрахунків	62
5.3 Висновки	63
Загальні висновки	64
Бібліографія	66
Додатки	68

## ВСТУП

Сучасний розвиток молочного скотарства вимагає підвищення ефективності виробництва продукції за рахунок раціональної організації годівлі великої рогатої худоби, зокрема на малих фермах та у фермерських господарствах. Відомо, що рівень продуктивності корів на 60...80 % визначається повноцінністю, збалансованістю та стабільністю годівлі, а витрати на корми становлять найбільшу частку собівартості тваринницької продукції. Тому питання вдосконалення технічних засобів для приготування та роздавання кормів є одним із ключових напрямів підвищення ефективності галузі.

Більшість існуючих кормоприготувальних машин і змішувачів-роздавачів розроблені переважно для великих ферм і комплексів. Вони забезпечують прийнятну якість подрібнення та змішування, але характеризуються значною енергоємністю, металомісткістю, складністю технічного обслуговування та високими вимогами до попередньої підготовки грубих кормів. Для малих ферм ВРХ такі машини часто є економічно невиправданими, а іноді – просто непридатними з огляду на габарити, маневреність, потребу в потужних тракторах та значні капітальні вкладення.

Особливої актуальності набуває застосування мобільних роздавачів-змішувачів, які поєднують операції подрібнення, змішування та роздавання кормів безпосередньо в годівниці, з мінімальним залученням ручної праці й енергоресурсів. Практика використання машин типу КТУ-10А, ПКТ-10, ІСРК-12Ф та їх зарубіжних аналогів показує, що за раціонального конструктивного виконання робочого органа такі агрегати здатні забезпечити високу рівномірність розподілу корму, зменшити втрати, покращити поїдання та, відповідно, продуктивність тварин. Водночас значний резерв підвищення ефективності криється у вдосконаленні шнекових подрібнювально-змішувальних робочих органів, виборі їх раціональних конструктивно-режимних параметрів та адаптації машин до умов малих ферм.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю створення енергоощадного, технологічно та економічно обґрунтованого роздавача-

змішувача кормів для малих ферм великої рогатої худоби, який би забезпечував якісне подрібнення та змішування компонентів раціону безпосередньо в процесі роздавання, відповідав зоотехнічним вимогам, вимогам охорони праці та сучасним економічним умовам.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності процесу приготування та роздавання кормових сумішей на малих фермах великої рогатої худоби шляхом удосконалення конструкції шнекового роздавача-змішувача та обґрунтування його конструктивно-режимних і технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- проаналізувати існуючі поточно-технологічні лінії та технічні засоби приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ, виявити їх переваги й недоліки з позицій умов малих ферм;

- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему роздавача-змішувача кормів бункерного типу з шнековим подрібнювально-змішувальним робочим органом, який забезпечує одночасне до-подрібнення та змішування компонентів у момент роздавання;

- розробити теоретичні залежності для розрахунку основних конструктивно-режимних параметрів шнека (крок навивки, кількість ножових сегментів, геометрія ножів, частота обертання, швидкість подаючого транспортера) та побудувати математичну модель процесу;

- створити експериментальну установку на базі розробленої конструкції роздавача-змішувача, провести багатофакторні експериментальні дослідження, визначити вплив вологості кормів, параметрів шнека та режимів роботи на неоднорідність суміші, гранулометричний склад та питомі витрати потужності;

- обґрунтувати раціональні конструктивно-режимні параметри роздавача-змішувача для умов малих ферм ВРХ, що забезпечують виконання зоотехнічних вимог при мінімальних енерговитратах;

- дати оцінку безпеки виконання технологічного процесу, розробити заходи та інструкцію з охорони праці для оператора розробленого кормороздавача;

– виконати економічне обґрунтування впровадження удосконаленого роздавача-змішувача, визначити річні експлуатаційні витрати, економічний ефект та строк окупності модернізації у порівнянні з базовим варіантом.

Об'єктом дослідження є процес приготування та роздавання повнораціонних кормових сумішей на малих фермах великої рогатої худоби. Предметом дослідження є конструкція та конструктивно-режимні параметри шнекового роздавача-змішувача кормів бункерного типу й їх вплив на показники якості суміші, енергоємність процесу та експлуатаційну ефективність машини.

Методологічну основу роботи становлять аналітичні методи теоретичної механіки та теорії різання, положення теорії транспортуючих і змішувальних машин, методи планування та обробки багатофакторного експерименту, а також нормативні документи з випробування, оцінки надійності й економічної ефективності сільськогосподарської техніки.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні параметри роздавача-змішувача, які можуть бути використані при модернізації наявних кормороздавачів типу КТУ-10А, ПКТ-10 та аналогічних машин, а також при проектуванні нових енергоощадних агрегатів для малих ферм великої рогатої худоби. Використання удосконаленого роздавача-змішувача дає змогу знизити енергоємність і річні експлуатаційні витрати, підвищити рівень механізації процесів годівлі та забезпечити стабільну якість кормових сумішей.

# **1 Аналіз стану питання і завдання дослідження**

## **1.1 Аналіз потоково-технологічних приготування кормів на фермах великої рогатої худоби**

Стан здоров'я та рівень продуктивності великої рогатої худоби залежать не лише від якості, повноцінності й збалансованості раціонів, а й у значній мірі від того, наскільки правильно організовано підготовку кормів до згодовування.

Для комплексної механізації процесу підготовки кормів створюють потоково-технологічні лінії, які являють собою сукупність машин і споруд, розміщених у певній послідовності. Такі лінії забезпечують своєчасне виконання всіх необхідних технологічних операцій з дотриманням зоотехнічних вимог і мінімальними витратами праці, металу, енергії та коштів.

Невід'ємними операціями підготовки кормів до згодовування є їх подрібнення та змішування. Саме ці процеси значною мірою визначають ефективність використання кормів, а отже – продуктивність тварин. Найбільш раціональним з економічного погляду є поєднання декількох операцій в одному технічному засобі, що дає змогу знизити енергоємність і металоємність процесу приготування повнораціонних кормових сумішей, а також скоротити обсяг вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт.

Узагальнено потоково-технологічні лінії приготування кормів можна подати у вигляді системи «сховище – технічний засіб – годівниця – тварина». До складу такої системи входить низка машин і механізмів, які забезпечують усі стадії процесу приготування кормів; схематично вони показані на рисунку 1.1.

За схемою «а» кормороздавач КТУ-10А, завантажений силосною масою, агрегується з трактором МТЗ-80 і доставляється безпосередньо до місця годівлі тварин.

За схемою «б» силос і сіно завантажують у кормороздавач КТУ-10А, і під час роздавання корму безпосередньо в годівниці відбувається змішування компонентів.

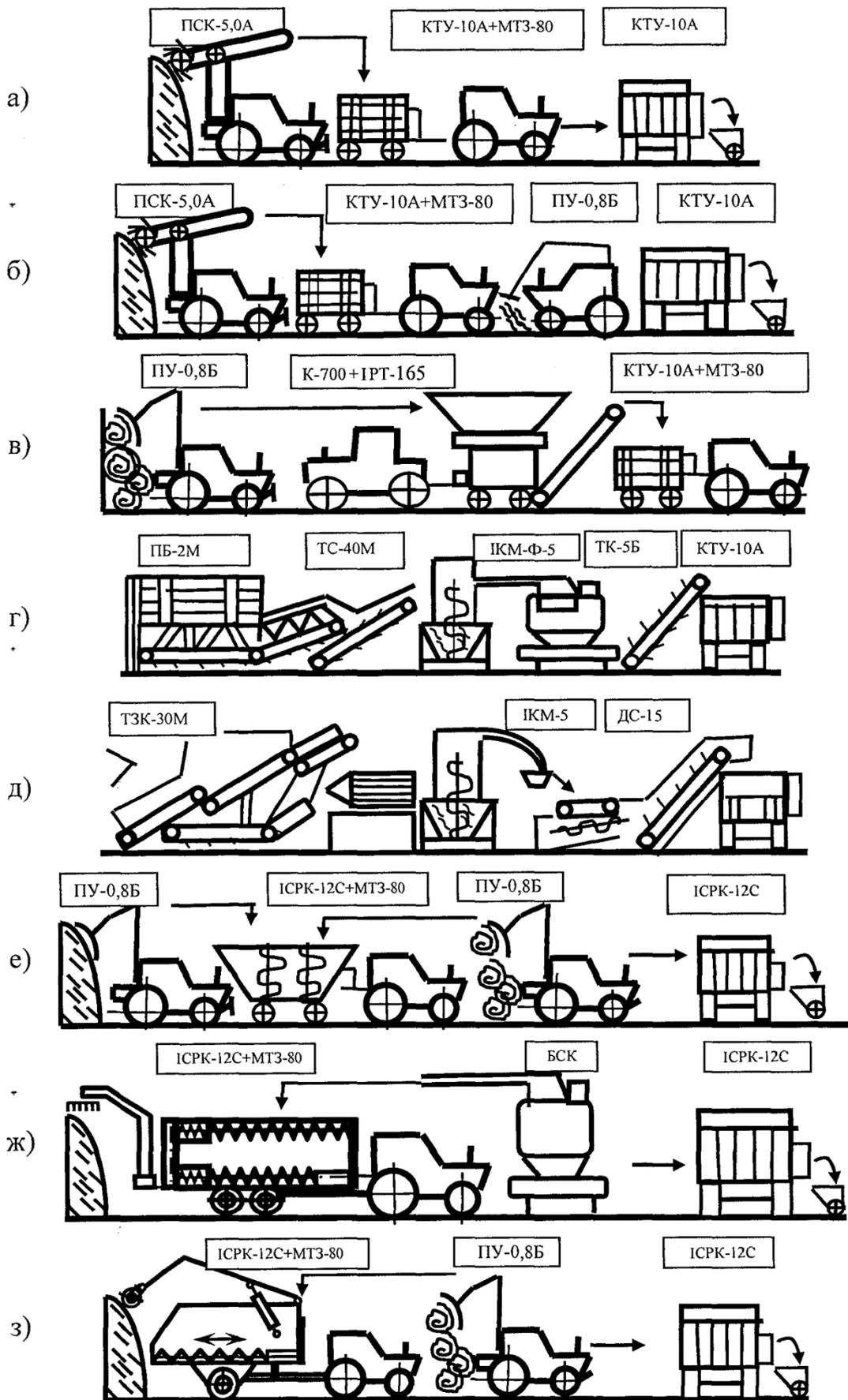


Рисунок 1.1 – Схеми реалізації процесу приготування-роздавання кормів

Подрібнення соломи здійснюють подрібнювачем ІРТ-165, який агрегується з тракторами Т-150К або К-700; при цьому додатково використовується тракторний навантажувач ПЕ-0,8Б (рис. 1.4, «в»). За такою технологією грубі корми, заготовлені в рулонах або розсипом, подають у бункер ІРТ-165 за допомогою навантажувача ПЕ-0,8Б, де вони подрібнюються. Далі за допомогою вивантажувального транспортера корм надходить у бункер кормороздавача КТУ-10А і транспортується до годівниць тварин, де й роздається.

На рисунку 1.4, «г» і «д» показані потоково-технологічні лінії підготовки коренебульбоплодів, які включають операції: завантаження, транспортування, вивантаження, очистку або мийку, подрібнення та роздавання.

За схемою «г» приймальний бункер-живильник ПБ-2М завантажують кормом із транспортних засобів. Далі коренебульбоплоди транспортером подаються до мийки-подрібнювача ІКМ-Ф-5, де вони промиваються, очищуються від забруднень і каменів, подрібнюються, а потім надходять у дозувальний пристрій.

У схемі «д» коренеплоди завантажують у приймальний лоток живильника ТЗК-30М, звідки вони стрічковим скребковим транспортером подаються до обертового барабана сухого очищення, де відокремлюється основна маса домішок. Після цього коренеплоди надходять у мийну ванну каменевідокремлювача, шнеком подаються до подрібнювача, а потім – у бункер-дозатор.

За схемою «е» навантажувачем ПЕ-0,8Б сіно, сінаж (розсипом або в рулонах) і концентровані корми завантажують в подрібнювач-змішувач з вертикально розташованими шнековими робочими органами, обладнаними подрібнювальними сегментами. Під час роботи агрегату завантажені компоненти подрібнюються і змішуються, а готова кормова суміш за допомогою вивантажувального транспортера подається в годівниці.

За схемами «ж» і «з» універсальні самозавантажувальні агрегати наповнюють бункер усіма необхідними компонентами кормової суміші. За рахунок горизонтально розміщених шнекових робочих органів з

подрібнювальними сегментами здійснюються подрібнення та змішування компонентів. Для завантаження рулонних кормів знову ж таки потрібно використовувати навантажувач ПЕ-0,8Б.

Таким чином, у існуючих технологіях приготування кормових сумішей застосовують таке основне обладнання:

погрузчик ПЕ-0,8Б та кормороздавач КТУ-10, агрегований із трактором МТЗ-80;

самозавантажувальні транспортні засоби, що працюють у агрегаті з трактором МТЗ-80.

Проведений аналіз показує, що такі технології мають низку суттєвих недоліків: вони є енергоємними (потужність приводу окремих машин і агрегатів за схемами рис. 1.4, «в», «е»–«з» досягає 50–80 кВт), відзначаються високою металоємністю (рис. 1.4, «г», «д»), потребують значних трудових витрат і часто виконують лише одну технологічну операцію (наприклад, тільки змішування – рис. 1.4, «а», «б»). Для невеликих ферм і фермерських господарств це є економічно не вигідним.

Отже, існує нагальна потреба удосконалення й створення нових технологій і технічних засобів для малих ферм великої рогатої худоби, спрямованих на зниження енергоємності процесів, максимальне скорочення ручної праці й чисельності обслуговуючого персоналу, а також на поєднання кількох операцій в одній машині, тобто розробку універсального технічного засобу.

## **1.2 Аналіз технічних засобів приготування кормів на фермах великої рогатої худоби**

У країнах Західної Європи на тваринницьких фермах для завантаження, подрібнення, змішування та роздавання кормів широко застосовують багатофункціональні мобільні машини. У порівнянні з технікою, яка традиційно використовується на наших фермах, такі засоби дають змогу в перерахунку на 1 т кормосуміші в 2–3 рази зменшити затрати праці та приблизно вдвічі знизити металоємність і енергоємність процесу.

Практика останніх років свідчить про зростання інтересу до різноманітних комбінованих машин і агрегатів для приготування кормів. Добре відомі мобільні кормоцехи, що агрегуються з тракторами, серед яких як вітчизняні, так і зарубіжні моделі, наприклад Junkkari A-MIX, DeLaval Optimix, НОЭЗНО КІС-8, ІСРК-12. Основна перевага таких «цехів на колесах» полягає в зручності експлуатації, можливості рівномірно подрібнювати й змішувати корми, забезпечуючи тварин оптимально збалансованими за складом і консистенцією раціонами. Різноманітність конструкцій зумовлена відмінностями кліматичних і господарських умов, фізико-механічними властивостями кормових компонентів, а також постійним пошуком оптимальних конструктивних рішень, що відповідають зоотехнічним і техніко-економічним вимогам.

Під час вибору технічних засобів для механізації процесів на фермерських господарствах враховують передусім тип ферми, її розмір і виробничий напрям, спосіб утримання тварин, режими й раціони годівлі, забезпеченість кормами та низку інших чинників.

Згідно із зоотехнічними вимогами, технологічний процес у кормоприготувальних машинах має здійснюватися з мінімальними витратами праці, коштів та енергії, при цьому забезпечуючи необхідну якість одержуваних сумішей.

До таких машин висувають наступні основні вимоги:

- забезпечення рівномірної роздачі корму (при порційній видачі в індивідуальні годівниці допустима нерівномірність не більше 10 % на кожен метр годівниці);
- точне дозування корму для окремої тварини або групи тварин;
- недопущення забруднення корму та його розшарування за фракціями;
- попередження травмування тварин і забезпечення електробезпеки.

Час одноразової роздачі корму за один прохід не повинен перевищувати 5 хв. Ступінь однорідності сумішей для великої рогатої худоби має бути не нижче 80 %. Допустима нерівномірність змішування при безперервній видачі для сухих та зволжених кормів становить до 10 %. Відхилення від заданої норми на голову

допускається в межах  $\pm 15\%$  для стеблових кормів і  $\pm 5\%$  – для концентрованих. Невідворотні втрати корму мають не перевищувати  $0,15\%$ , а зворотні –  $1\ldots 2\%$  від загальної кількості. Тривалість роздачі кормів в одному приміщенні не повинна перевищувати 30 хв при використанні мобільних засобів і 20 хв – при роздаванні стаціонарними установками.

Кормоприготувальні машини повинні мати високу надійність, не створювати надмірного шуму в приміщенні, бути зручними для очищення від залишків корму та забруднень, забезпечувати безпечну й стабільну роботу.

Питаннями отримання кормових сумішей на основі силосу, сіна, сінажу, коренебульбоплодів, зелених кормів та комбікорму, а також створенням і вдосконаленням відповідних технічних засобів займалися багато науково-дослідних установ, окремі науковці, раціоналізатори й винахідники. У науковій літературі наведено значний обсяг результатів їхніх досліджень.

Для приготування та роздачі кормових сумішей застосовують як серійні машини, так і оригінальні конструкції. У Європі працює близько трьох десятків фірм, що спеціалізуються на виробництві комбінованих машин і агрегатів для приготування кормів, і щороку з'являються нові моделі. Конкуренція на ринку ідей у цій галузі зосереджується переважно навколо двох принципових рішень: горизонтальне чи вертикальне розміщення робочих органів у бункері. Якість змішування та енергоємність процесу значною мірою залежать саме від конструктивного виконання цих робочих органів. Деякі принципові схеми бункерних змішувачів-роздавачів із різними робочими органами наведені на рисунку 1.2.

Для оцінки якості виконання технологічного процесу приготування кормових сумішей використовують протоколи випробувань, складені, зокрема, німецькими та англійськими фахівцями, за результатами досліджень дво-, три- та чотиривальних горизонтальних і одно- та двовальних вертикальних змішувачів-роздавачів. В цих випробуваннях визначають показники рівномірності та тривалості змішування, рівномірності роздачі й енергоємності процесу, переважно на подрібнених листостеблових кормах. При роботі на

неподрібнених або пресованих кормах надаються рекомендації щодо доцільності використання того чи іншого типу змішувачів-роздавачів.

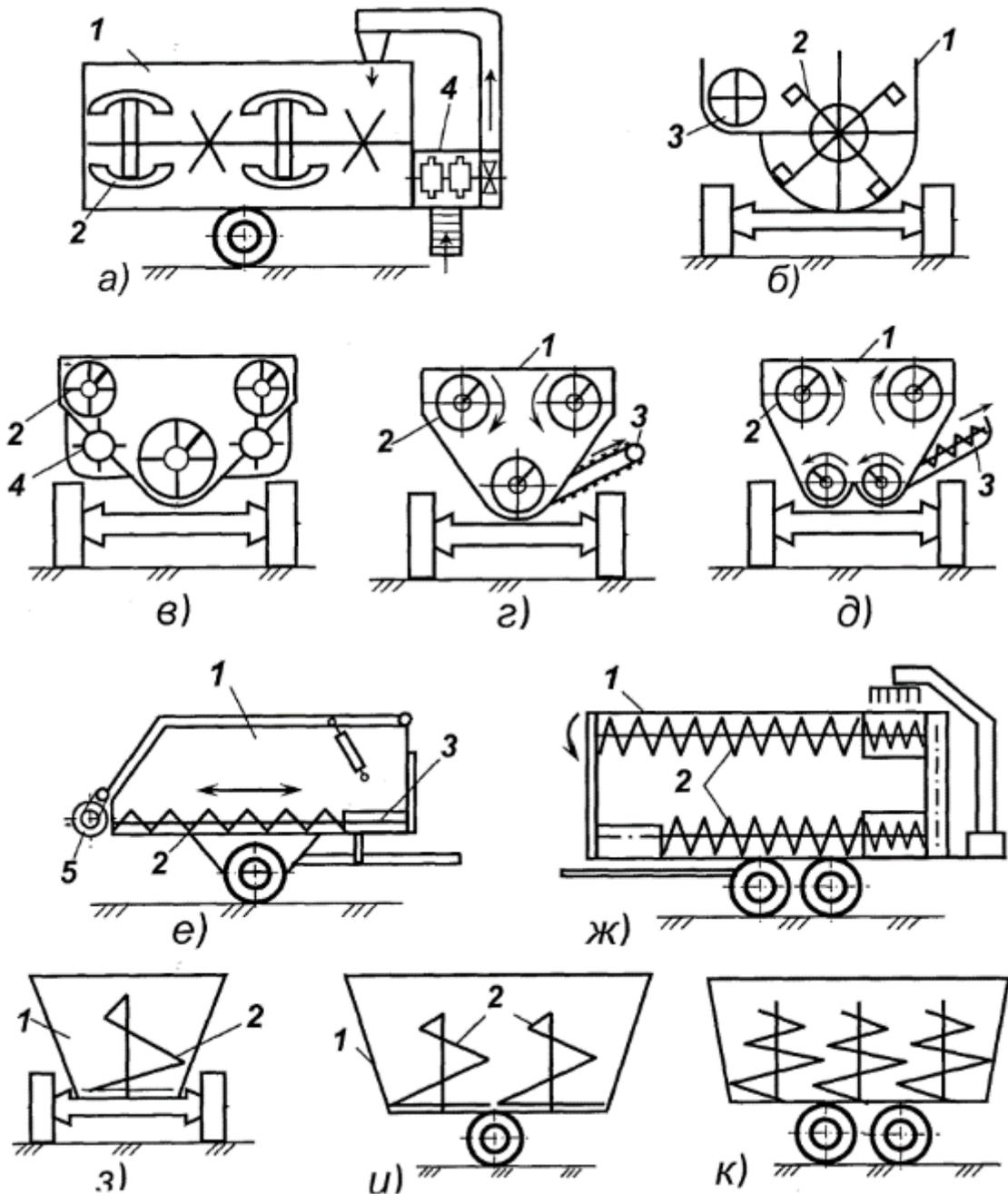


Рисунок 1.2 – Конструктивно-технологічні схеми бункерних змішувачів-роздавачів кормів: а – лопатевий змішувач-роздавач фірми «Dawis Sons» (США); б – барабанний змішувач-роздавач фірми «Keenan» (Велика Британія); в, г, д – горизонтальні трьох- та чотиришнекові змішувачі-роздавачі; е, ж – самозавантажувальні змішувачі-роздавачі; з, і, к – вертикальні одно-, дво- та трьохшнекові змішувачі-роздавачі. 1 – бункер; 2 – змішувальні робочі органи; 3 – вивантажувальний транспортер; 4 – подрібнювач; 5 – фрезерний барабан.

Аналіз результатів випробувань показує, що всі розглянуті машини забезпечують високу якість змішування кормів. Час змішування, як правило, становить 3–5 хв. При цьому енергоємність процесу дещо більша у вертикальних змішувачів-роздавачів порівняно з горизонтальними.

Частина горизонтальних моделей може працювати з рулонами й тюками невеликого розміру (максимальний габарит не повинен перевищувати 1,2 м), тоді як вертикальні змішувачі придатні для роботи з рулонними та тюковими кормами практично будь-якого розміру. Відзначено також, що потрапляння до корму сторонніх включень, як правило, не призводить до пошкодження машин.

Більшість змішувачів-роздавачів обладнані ваговимірвальними терміналами з трьома або чотирма тензодатчиками. У машинах місткістю понад 10 м<sup>3</sup> тензодатчики, як правило, установлюють між бункером і рамою ходової частини, а в машинах об'ємом до 10 м<sup>3</sup> – у маточинах коліс або на осі причіпного пристрою. Точність зважування основних кормів у різних систем становить 1,5–5 %, а комбікормів – 0,7–1,7 %. Використання вагових терміналів дає змогу готувати повнораціонні кормосуміші з чітко заданою енергетичною цінністю.

Одним із прикладів барабанного роздавача для приготування та видачі кормових сумішей є кормороздавач Easifeeder, який випускає відома фірма-виробник кормороздавачів «Keenan» (рисунок 1.2).

Модель «Klassik II» має U-подібний бункер місткістю 17 м<sup>3</sup> з овальним ротором усередині. З лівого боку ротора, на тій самій горизонтальній осі, розташовано вивантажувальний шнек, довжина якого дорівнює довжині ротора. На кінцях лопатей ротора встановлені гребінки, а на внутрішній поверхні кожуха бункера змонтовані ножі. Під час обертання ротора ножі проходять між пальцями гребінок і забезпечують подрібнення корму.

Бункер з'єднаний із рамою ходової частини циліндричними тензооперами, що працюють на вигин. Машина здатна подрібнювати й змішувати практично всі види кормів, за винятком пресованих.



Рисунок 1.2 – KEENAN KLASSEK II 170S EASIFEEDER фірми «Keenan», Велика Британія

Конструкція «Klassik II» відзначається простотою й доступністю для серійного виготовлення на більшості заводів сільгоспмашинобудування. Для цієї моделі характерна невисока енергоємність (при об'ємі бункера 17 м<sup>3</sup> встановлена потужність становить близько 45 кВт) та висока якість подрібнення і змішування кормів.

Змішувальний механізм даного роздавача досить досконалий, що забезпечує високий рівень однорідності суміші. Водночас ступінь завантаження бункера не повинен перевищувати 80 %, оскільки при перевантаженні компоненти можуть застрягати між барабанами та не перемішуватися. Боковий шнековий механізм роздавання формує рівномірний шлейф кормової суміші по всій довжині годівниці. Чистота вивантаження дуже висока, хоча незначна кількість залишків залишається на шнеку.

До недоліків цієї конструкції слід віднести значну складність керування та великі габарити за шириною і висотою, що обмежує можливість використання роздавача в тісних тваринницьких приміщеннях.

Одним із найпоширеніших роздавачів-змішувачів із лопатевим робочим органом, який дозволяє змішувати різні види кормів (концентровані, напіврідкі,

силос, подрібнену зелену масу) на фермах, є WESTMAC JF PA19 місткістю 19 м<sup>3</sup>, виробництва Данії (рисунок 1.3).

Кормороздавач складається з ходової тележки, бункера, робочих органів, передавальних механізмів, систем керування і регулювання. У задній частині машини розташовано приймальний канал для подавання патоки або води.

Суміш утворюється за рахунок роботи 9 лопатей, закріплених на горизонтальному валу, та 6 ножів для подрібнення соломи, які забезпечують часткове додаткове подрібнення грубих кормів.

Для досягнення належної якості змішування роздавач необхідно попередньо вирівняти за допомогою штовхача під бункером і спеціального важеля, при цьому завантаження не повинно перевищувати 80 % об'єму.



Рисунок 1.3 – WESTMAC JF PA19, Данія

Під час роздавання кормів передня частина машини опускається за допомогою гідروпідйомника, що сприяє переміщенню суміші до вивантажувального клапана. Швидкість роботи вивантажувального транспортера регулюється повітряним клапаном. Огляд транспортера з робочого місця оператора досить хороший, але повністю видалити залишки корму з бункера непросто.

Основні недоліки роздавачів цього типу такі:

– змішування і транспортування кормових компонентів здійснюється шнеколопатевими робочими органами, які потребують регулярного очищення для запобігання корозії, забивання кормом та обсіменіння свіжих порцій залишками зброженого корму;

– нерівномірність видачі корму зростає в міру спорожнення бункера; окрім того, машина успадковує недоліки попереднього розглянутого змішувача-роздавача.

До машин з горизонтальним шнековим змішувальним органом належить кормороздавач LELY SGARIBOLDI MONO 16ST (рисунок 1.4).

Цей роздавач має бункер місткістю 16 м<sup>3</sup>, у нижній частині якого розміщено один горизонтальний шнек із боковим важелем, що сприяє повному перемішуванню компонентів. По периметру гвинтової навивки шнека встановлено ножові сегменти, які дають змогу подрібнювати та змішувати грубі корми, у тому числі силос у рулонах. Гідростатичне керування приводиться від вала відбору потужності трактора через масляний насос, який живить гідросистему роздавача.



Рисунок 1.4 – Кормороздавач LELY SGARIBOLDI MONO 16ST фірми «Sgariboldi», Італія

До недоліків цієї машини належить невисока якість змішування концентрованих кормів і досить значна нерівномірність роздачі. Конструкція бункера не забезпечує повну вивантажуваність, через що залишки корму закипають. Огляд внутрішнього об'єму утруднений через високе розташування оглядової решітки й відсутність спеціального трапа.

Подрібнювач-змішувач-роздавач кормів серії Star System Orion (рисунок 1.5) призначений для приготування (доподрібнення і змішування) компонентів – зеленої маси, силосу, сінажу, розсипного та пресованого сіна, соломи, комбікормів, подрібнених коренеплодів, кормових добавок – з використанням електронної системи зважування.

У нижній частині бункера по його осі встановлено два змішувально-подрібнювальні шнеки. По всій довжині витків змонтовано ножі з хвилястою ріжучою кромкою та протирізальну балку, завдяки чому забезпечується інтенсивне доопрацювання маси. Для змішування компонентів кожен шнек має зустрічну напрямку навівку, що транспортує корм до центру й угору.



Рисунок 1.5 – Подрібнювач-змішувач-роздавач кормів серії Star System Orion

Справа по ходу руху, у середній частині бункера, розташований вивантажувальний транспортер із гідроприводом. Кут його нахилу (а отже, висота роздавання в годівниці) регулюється вручну. Норму видачі кормосуміші

змінюють заслінкою вивантажувального люка, що приводиться в дію гідроциліндром. У транспортному положенні транспортер фіксується у вертикальному стані. Завантажувальне вікно для кормових добавок знаходиться в задній частині бункера.

Ще одним представником роздавачів із шнековим робочим органом є KVERNELAND KD 618-2 (рисунок 1.6), виробництва Данії.



Рисунок 1.6 – Кормороздавач KVERNELAND KD 618-2 (Данія)

Цей кормороздавач має бункер місткістю 18 м<sup>3</sup> із двома горизонтальними шнеками. Під час роботи шнеки переміщують кормову масу до центру бункера, забезпечуючи її перемішування. Для отримання суміші належної якості необхідно мінімум 5 хв роботи.

Передбачено два варіанти роздавання: за допомогою елеватора з лівого боку та через боковий клапан із правого боку. При використанні бокового клапана спостереження за процесом роздачі утруднене. Більш зручним вважається варіант із транспортером, оскільки він забезпечує кращий огляд і зменшує ризик потрапляння корму під колеса. Водночас процес роздачі є повільним, і до кінця вивантаження корм надмірно подрібнюється, тобто гранулометричний склад не відповідає зоотехнічним вимогам.

Такі змішувачі-роздавачі доцільно застосовувати на великих відгодівельних фермах і майданчиках у поєднанні із спеціальними

завантажувальними відділеннями. Однак спільним недоліком усіх описаних конструкцій є відсутність власних пристроїв для завантаження кормів у бункер.

До машин, оснащених спеціальними пристроями для завантаження різних кормових компонентів у бункер, належить змішувач-роздавач OPT1M1X (рисунок 1.7).

Кормороздавач складається з бункера, систем подрібнення, змішування і зважування, пристроїв завантаження й вивантаження, гідравлічної системи та приводу.



Рисунок 1.7 – OPT1M1X фірми «DeLaval»

Система подрібнення-змішування виконана у вигляді трьох горизонтальних шнеків: один розташовано в нижній частині бункера по центру, два інші – у верхній частині вздовж бокових стінок. Центральний шнек, оснащений ножами, у взаємодії з контрножами ефективно подрібнює листостеблові корми й змішує компоненти в однорідну суміш. Два верхні шнеки забезпечують рівномірний розподіл кормової маси по всьому об'єму бункера.

Напівпричіпний змішувач-роздавач використовують на фермах ВРХ для приготування збалансованих кормосумішей із заданою поживністю (на основі грубих, соковитих, концентрованих і рідких кормів та балансуєчих добавок) і

подальшої їх роздачі тваринам. Він також може застосовуватися для змішування концентрованих кормів і преміксів під час виготовлення комбікормів.

Машина оснащена фрезою на стрілі з гідравлічним приводом, яка забезпечує операцію самозавантаження.

Робочий процес відбувається так: кормові компоненти завантажують у бункер фрезою, після чого два верхні шнеки переміщують масу до торцевих стінок, а нижній – до середини, що сприяє інтенсивному змішуванню. Готову суміш вивантажують до годівниць за допомогою спеціального ланцюгово-планчатого транспортера, який може встановлюватися з одного чи з обох боків машини. Висота підйому транспортера регулюється гідроприводом.

Напівпричіпні змішувачі-роздавачі фірми STORTI за будовою подібні до описаної вище машини. Система подрібнення-змішування виконана у вигляді горизонтальних шнеків; робочі органи центрального шнека мають лопати змінного профілю з підвішеними по кромці подрібнювальними ножами. Така конструкція забезпечує «щадну» дію на матеріал і дає добре подрібнену однорідну суміш.



Рисунок 1.8 – Кормороздавач “STORTI” Husky DS120 з комбінованим завантаженням

Модель Akita (рисунок 1.9) забезпечує дуже високу однорідність змішування – до 98 %. Електронна система зважування дозволяє формувати та зберігати в пам'яті до 90 рецептів, кожен з яких адаптований до фізіологічних особливостей певної групи тварин.



Рисунок 1.9 – Кормороздавач “STORTI” Akita DS120 з фрезерним завантаженням

Основними недоліками змішувачів-роздавачів є висока вартість обладнання й значні витрати потужності на процес перемішування.

Усі описані вище змішувачі-роздавачі мають спільні недоліки:

- змішування відбувається безпосередньо в бункері, тому його необхідно очищати після кожного циклу годівлі;
- на процес перемішування витрачається значна кількість енергії;
- рівномірність видачі корму змінюється в досить широких межах;
- видавання корму бажано проводити до повного спорожнення бункера, оскільки залишки призводять до закисання корму й корозії поверхонь, що контактують із вологим середовищем.

Оскільки змішувачі з горизонтальними робочими органами є більш складними у виготовленні, більшість фірм поступово переходить на одно- та двошнекові моделі. Аналіз порівняльних даних показує, що за питомими показниками та універсальністю щодо видів кормів вертикальні змішувачі-роздавачі мають переваги над іншими конструкціями. Останніми роками їх виробництво освоїли фірми, які раніше виготовляли лише горизонтальні машини, наприклад Viga (Нідерланди) та Shelbourne (Англія).

Для малих ферм найбільший інтерес становлять моделі «Popular» (рисунок 1.10) фірми Shelbourne (Англія), які поєднують усі переваги вертикальних змішувачів-роздавачів, та СРК-11В «Хозяин» (рисунок 1.11). Бункер у цих машин виконаний у вигляді перевернутої усіченої багатогранної піраміди, розширеної догори, і з'єднаний із рамою S-подібними тензоопорами. У середині бункера навколо вертикальної осі обертається однозаходний шнек, що звужується догори і має сім ножів, змонтованих перпендикулярно осі. Бункер обладнано вивантажувальним вікном із шиберною заслінкою, а транспортер розміщено на рамі.



Рисунок 1.10 – Змішувач-роздавач кормів «Popular-8» фірми Shelbourne (Англія)



Рисунок 1.11 – Змішувач-роздавач кормів СРК-11В

Ці змішувачі-роздавачі мають менші габарити, що підвищує їх маневреність у кормовій зоні ферми, а також зменшує витрату металу на одну машину з 4200 до 2500 кг і потужність приводу з 60 до 18 кВт.

Напівпричіпні змішувачі-роздавачі BvL V-Mix 15 plus, Redrock Trioliet Solomix 2000 VLT, RMH WAV 22 (рисунки 1.12, 1.13, 1.14) за конструкцією подібні до розглянутих вище вертикальних машин, але відрізняються кількістю робочих органів та об'ємом бункера (15, 20 і 22 м<sup>3</sup> відповідно).



Рисунок 1.12 – Кормороздавач BvL V-Mix 15 plus



Рисунок 1.13 – Кормороздавач Redrock Trioliet Solomix 2000 VLT (Голландія)



Рисунок 1.14 – Кормороздавач RMH WAV 22 (Ізраїль)



Аналіз технічних засобів приготування кормових сумішей на фермах великої рогатої худоби засвідчив значне різноманіття конструкцій кормоприготувальних машин, які відрізняються типом робочих органів, об'ємом бункера та наявністю спеціальних завантажувальних пристроїв. Водночас важливим спільним недоліком шнекових змішувачів-роздавачів є підвищена енергоємність: робочі органи працюють безпосередньо в товщі кормового продукту й взаємодіють із усією масою, що знаходиться в бункері. Крім того, вони чутливі до ступеня подрібнення стеблових кормів.

Отже, для малих ферм ВРХ найперспективнішими є мобільні роздавачі, у яких змішування компонентів відбувається поза робочим органом – безпосередньо в момент подавання корму тваринам. За таких рішень потужність, необхідна для процесу, у середньому у п'ять разів менша (приблизно 11,2 кВт) порівняно зі змішуванням компонентів у бункері (близько 56,6 кВт).

Таким чином, розробка та впровадження нових енергозберігаючих технологій і малогабаритних багатоцільових технічних засобів для приготування кормів на фермах є актуальним і перспективним напрямом удосконалення механізації тваринництва.

### **1.3 Висновки**

Рівень продуктивності тварин приблизно на 60–80 % визначається якістю їх годівлі. Оскільки витрати на корми є основною статтею собівартості продукції тваринництва та пов'язані з найбільшими затратами праці й енергоносіїв, інвестиції у вдосконалення системи годівлі забезпечують найвищу віддачу.

Зменшення трудомісткості та енерговитрат у виробництві продукції на малих фермах ВРХ можна досягти передусім за рахунок підвищення ефективності годівлі тварин шляхом поглиблення механізації процесів приготування та роздавання кормів.

Виконання поставлених завдань значною мірою залежить від якості реалізації технологічного процесу. Існуючі на сьогодні серійні конструкції змішувачів-роздавачів не завжди є достатньо вдалими як з технологічної, так і з

економічної точки зору, що зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу приготування кормових сумішей на малих фермах великої рогатої худоби шляхом удосконалення змішувача-роздавача кормів та обґрунтування його конструктивно-режимних і технологічних параметрів.

Відповідно до поставленої мети та проведеного аналізу сформульовано такі завдання дослідження:

виявити сучасні тенденції розвитку технічних засобів для приготування повнораціонних кормових сумішей на малих фермах ВРХ та удосконалити класифікацію бункерних змішувачів-роздавачів кормів, що дозволить визначити перспективний напрям створення нового технічного засобу й обґрунтувати його конструктивно-технологічну схему;

розробити аналітичні залежності для розрахунку основних конструктивно-режимних і технологічних параметрів змішувача-роздавача кормів та побудувати математичну модель процесу змішування компонентів кормової суміші шнековим робочим органом;

створити експериментальну установку змішувача-роздавача кормів, провести експериментальні дослідження та визначити основні фактори, що впливають на показники однорідності суміші, гранулометричного складу та питомої потужності;

провести економічну оцінку ефективності впровадження вдосконаленого змішувача-роздавача кормів.

## **2 Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача-роздавача кормів**

### **2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми змішувача-роздавача кормів**

У процесі комплексного вивчення проблем приготування та роздавання кормів у технологічних і потоково-технологічних лініях було виявлено низку суттєвих недоліків. Аналіз існуючих ліній та обладнання для приготування і роздавання кормових сумішей дав змогу уточнити й доповнити класифікацію змішувачів-роздавачів і на цій основі визначити найдоцільнішу конструктивно-технологічну схему їх робочого органа.

Класифікація та аналіз наявних технічних засобів для приготування кормових сумішей, виконані в розділі 1, показали, що нині з погляду зоотехнічних та техніко-економічних вимог найбільш перспективним є використання у технологічних і потоково-технологічних лініях мобільних роздавачів кормів, у яких змішування з попереднім подрібненням компонентів здійснюється безпосередньо в момент видачі корму. Такі машини приблизно в три рази дешевші за бункерні змішувачі-роздавачі, менш енергоємні, тому їх доцільно застосовувати для роздачі високоякісних листостеблових кормів, а також як змішувачі вже подрібнених листостеблових компонентів.

Наприклад, у кормороздавачі КТУ-10 і КТ-Ф-12 спочатку завантажують грубі корми, подрібнені в дробарках типу ІРТ-80 (ІРТ-165), а зверху – силос. Перемішування кормів відбувається під час роздачі. Перевага такої технології полягає ще й у тому, що шар грубих кормів захищає подальший транспортер від агресивної дії силосу, а взимку – від примерзання корму до днища.

За даними випробувань, компоненти корму інтенсивно перемішуються під час проходження потоку через блок бітерів, тому якість змішування значною мірою залежить від конструкції цих робочих органів і рівномірності завантаження кожного шару. Водночас одним із основних етапів підготовки

грубих кормів до згодовування залишається їх подрібнення на спеціальних дробарках типу ІРТ-80 (ІРТ-165), що супроводжується значними витратами праці та енергоресурсів.

Запропонована конструкція змішувача-роздавача побудована на іншому принципі: кормова суміш не потребує попереднього подрібнення і змішування, оскільки всі процеси відбуваються безпосередньо під час роздачі корму в годівниці за рахунок подрібнювально-змішувального шнекового робочого органа. Для зниження енерговитрат на подрібнення грубих довгостеблових кормів по периметру гвинтової поверхні шнеків закріплено ножові сегменти. Щоб зменшити нерівномірність роздавання, навивку гвинта виконано з протилежним напрямком на сусідніх шнеках.

Змішувач-роздавач може бути створений на базі серійних мобільних бункерних кормороздавачів КТ-10-01, РКТ-10, КТУ-10А, КТ-6, РКМ-5 (РММ-5) (рисунок 2.1). Він складається з бункера 1, у передній частині якого розміщено подрібнювальний шнековий апарат 2 та вивантажувальний транспортер 3.

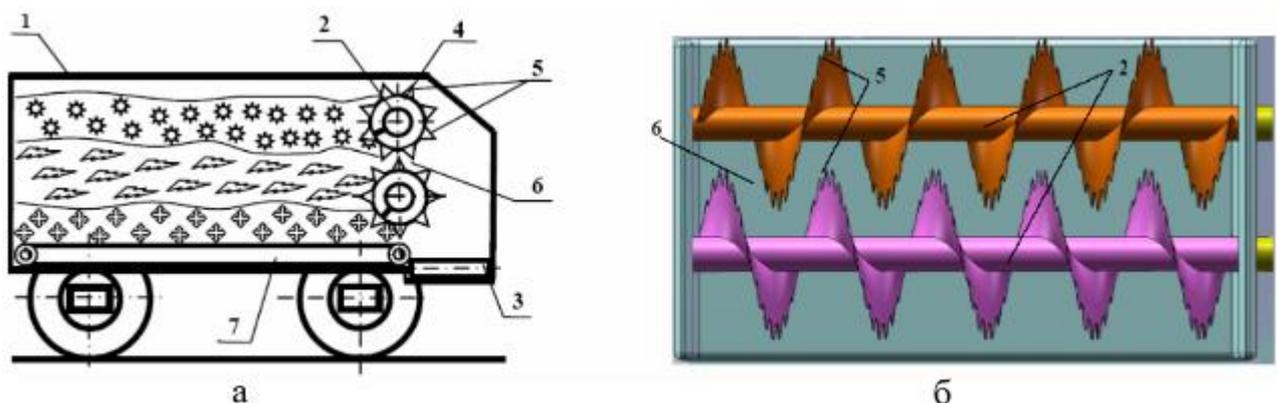


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема змішувача-роздавача кормів (а) та шнековий робочий орган (б)

Шнеки з ножами 5, закріпленими по зовнішньому периметру гвинтових поверхонь 4, розташовані так, що гвинтова поверхня одного шнека перекриває міжвитковий простір 6 іншого. Подрібнюваний матеріал або компоненти кормової суміші подаються до шнеків поздовжнім транспортером 7. Привід

шнекового апарата, поздовжнього та вивантажувального транспортерів здійснюється від вала відбору потужності трактора через кардану передачу.

Під час роботи змішувача-роздавача гвинтові поверхні 4 обертових шнеків 2 формують два зустрічні потоки корму, які частково переміщуються вздовж осі від однієї бічної стінки бункера до іншої. Ножі 5, установлені на гвинтовій поверхні, захоплюють довгостебловий корм, переміщують його вздовж осі шнека та подрібнюють, протягуючи через міжвитковий простір 6 паралельно розташованого шнека. Це підвищує експлуатаційну надійність машини, оскільки обертові шнеки не дають корму затримуватися й накопичуватися.

На поверхні шнеків потоки зливаються та інтенсивно перемішуються. Далі кормова маса виштовхується гвинтовими поверхнями шнеків на вивантажувальний транспортер 3. Додаткове перемішування відбувається в зоні перекриття гвинтовою поверхнею одного шнека міжвиткового простору іншого, що ще більше інтенсифікує процес змішування.

Таким чином, запропонована конструктивно-технологічна схема підвищує ефективність приготування кормових сумішей завдяки одночасному виконанню двох технологічних операцій – подрібнення та змішування – одним шнековим робочим органом. Це суттєво знижує енергоємність процесу, оскільки не потребується багаторазова циркуляція корму в об'ємі бункера.

## **2.2 Аналіз роботи подрібнювально-змішувального робочого органу та обґрунтування його параметрів**

У досліджуваному змішувачі-роздавачі, створеному на базі бункерного роздавача РММ-5, головним новим елементом є шнековий робочий орган, по гвинтовій поверхні якого розміщені ріжучі ножові сегменти. На відміну від бітерів, що застосовуються у базовій конструкції, такий шнек поєднує функції подрібнення і змішування, забезпечуючи інтенсивне перемішування кормових компонентів без додаткової циркуляції маси в бункері.

Ефективність подрібнення корму визначається кутом і формою ножа. Існує три основні способи різання:

1. Поперечне різання, коли лезо рухається перпендикулярно до осі стебла - потребує найбільших зусиль.
2. Зміщене різання, при якому кромка леза має невеликий кут до осі стебла.
3. Різання зі зсувом (ковзанням) - найменш енергоємне, оскільки матеріал зсувається вздовж леза, і зріз виконується поступово.

Щоб забезпечити різання з ковзанням по всій довжині ножа, його форма має бути зубчастою або хвилястою. Це знижує контактні навантаження та підвищує стійкість ножів.

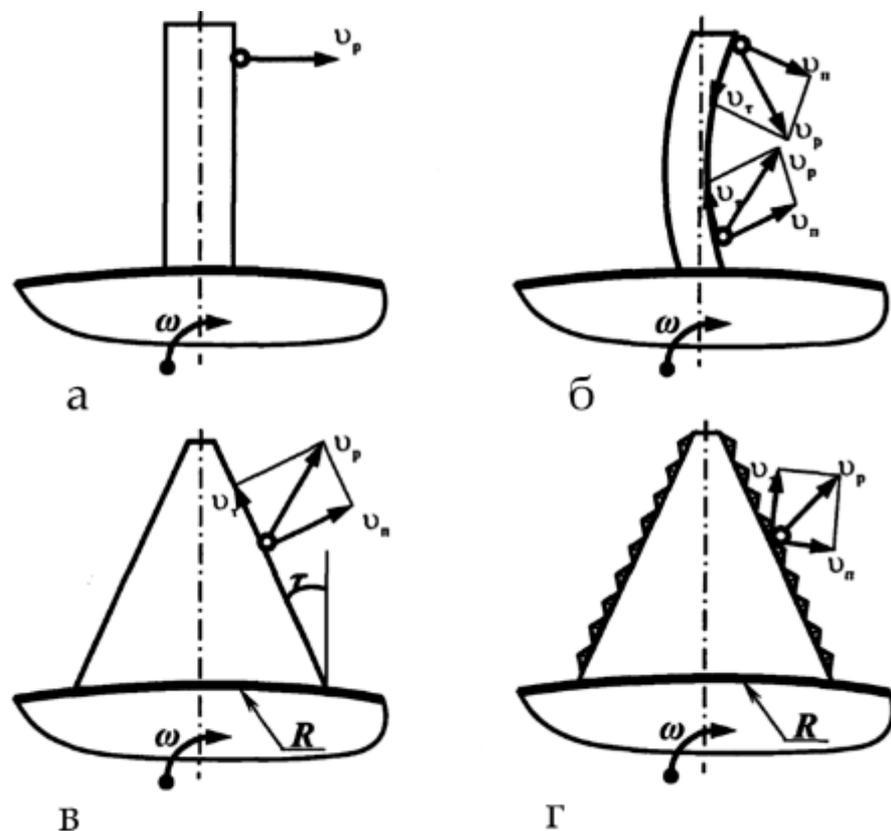


Рисунок 2.2 - Технологічні схеми до обґрунтування форми ножа: а – нормальне різання; б – ковзне зустрічне різання; в – ковзне відцентрове різання; г - ковзне відцентрове різання з додатковими ножами

Коли частинки корму взаємодіють із ріжучим сегментом, вони отримують швидкість ковзання, спрямовану до периферії шнека. Це зменшує защемлення волокон між паралельними лезами й покращує різання довгостеблової маси.

Для оцінки умов різання розглядається рівновага частинки корму, що взаємодіє з ножем (рисунок 2.3).

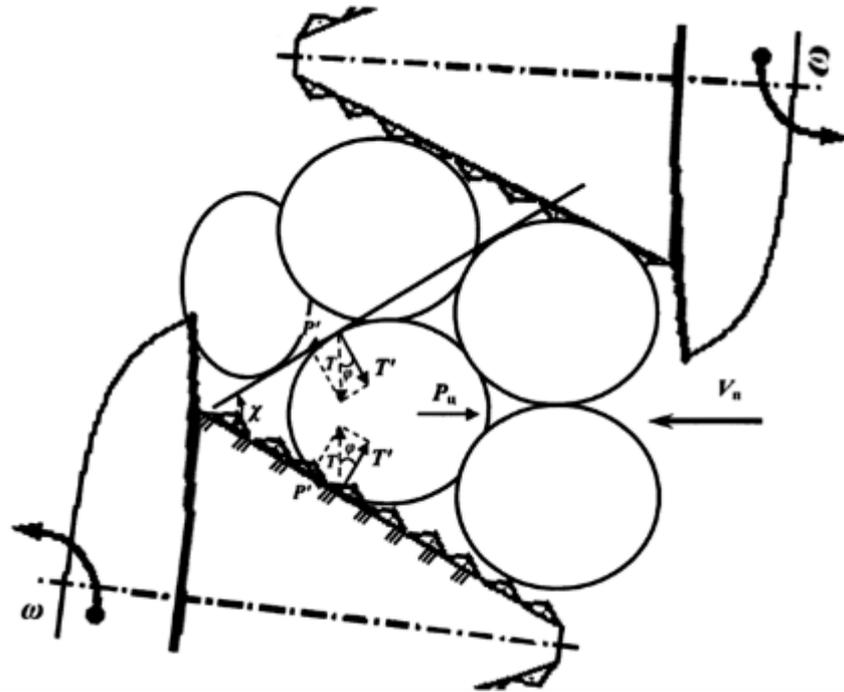


Рисунок 2.3 - Схема для визначення кута защемлення корму

На частинку діє відцентрова сила  $P_v$ , реакція ножа або опорної поверхні  $T$  і сили тертя. Якщо кут між ножем і поверхнею більший за подвоєний кут зовнішнього тертя ( $\varphi$ ), частинка може вислизнути.

Тому для забезпечення різання необхідно, щоб виконувалася умова:

$$P_v \geq 2T \cos \left\{ 180^\circ - \left[ \varphi + \left( 180^\circ - 90^\circ - \frac{\chi}{2} \right) \right] \right\} \quad (2.1)$$

$P_v$  - відцентрова сила, що діє на корм, Н;

$\varphi$  - кут зовнішнього тертя, град;

$\chi$  - кут защемлення між ножем і опорною поверхнею, град, приймається  $\chi = 2\varphi$ ;

$T$  - реакція опорної поверхні, Н.

$$P_c = m\omega^2 r = \frac{m\pi^2 n^2}{900} r \quad (2.2)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість обертання ножового ротора, рад/с;

$m$  - маса частинки корму, кг;

$n$  - частота обертання робочого органа, об/хв;

$r$  - відстань від осі обертання до частинки, м.

Підставивши (2.2) у вираз (2.1), одержимо:

$$\cos\left(90^\circ + \varphi - \frac{\chi}{2}\right) \geq \frac{P_b}{2T} \quad (2.3)$$

Звідки визначаємо величину кута защемлення:

$$\chi \leq 2\left(\varphi - 90^\circ + \arccos \frac{P_b}{2T}\right) \quad (2.4)$$

Висоту ножового сегмента  $h$  визначають із геометричних міркувань (рисунок 2.4), виходячи з умови забезпечення різання зі зсувом.

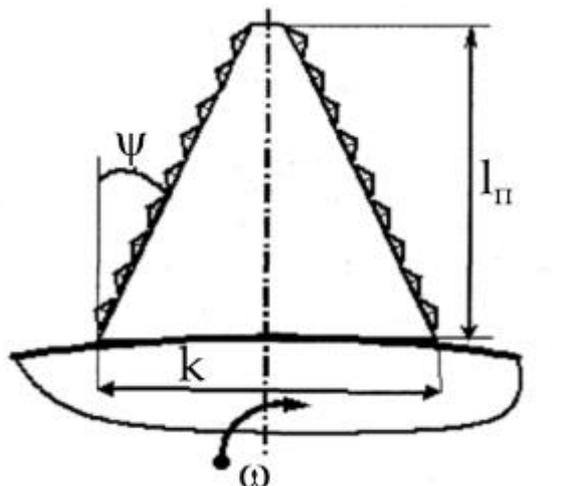


Рисунок 2.4 - Схема до визначення висоти ножового сегмента

Якщо лезо ножа має ширину основи  $k'$  та кут при вершині  $\psi$ , тоді:

$$l_n = \frac{2}{3} \frac{k}{\cos \psi} \quad (2.5)$$

де  $\psi$  - кут кромки ножа, град;

$k'$  - ширина основи ножа, мм.

### 2.3 Визначення частоти обертання ножового шнекового апарата

Численні дослідження шнекових механізмів показали, що за наявними розрахунковими формулами неможливо достатньо точно визначити їх параметри та режими роботи: похибка становить 20...60 %. Тому необхідні значення зазвичай добирають дослідним шляхом. Це пояснюється тим, що в розрахунках продуктивності, споживаної потужності та інших параметрів часто оперують швидкістю обертання самого шнека, а не дійсною швидкістю переміщення продукту.

Матеріал, який заповнює простір між витками шнека, перебуває в дуже складному напружено-деформованому стані, тому дослідження його руху є однією з найскладніших задач. У зв'язку з цим доцільно розглянути рух окремої частинки, розташованої на периферії гвинтової поверхні, а отримані закономірності узагальнити для всього потоку, ввівши деякий поправковий коефіцієнт, що визначається експериментально.

Обертання гвинтової поверхні шнека можна подати у вигляді переміщення так званого крокового трикутника ABC (рисунок 2.5). За один оберт шнека цей трикутник зміщується на довжину кола, яке є його основою, тобто на

Якщо припустити відсутність сил тертя й інерції, то під дією лише сил тиску  $K$  з боку гвинтової поверхні, спрямованих перпендикулярно до неї, частинка переміститься вздовж лінії АВ у точку В. Насправді ж, унаслідок дії сил тертя й інерції відбувається відставання, і частинка приходить не в точку В, а в точку  $B_0$ . Положення точки  $B_0$  відносно нормалі СВ визначається кутом відхилення  $\varphi$ .

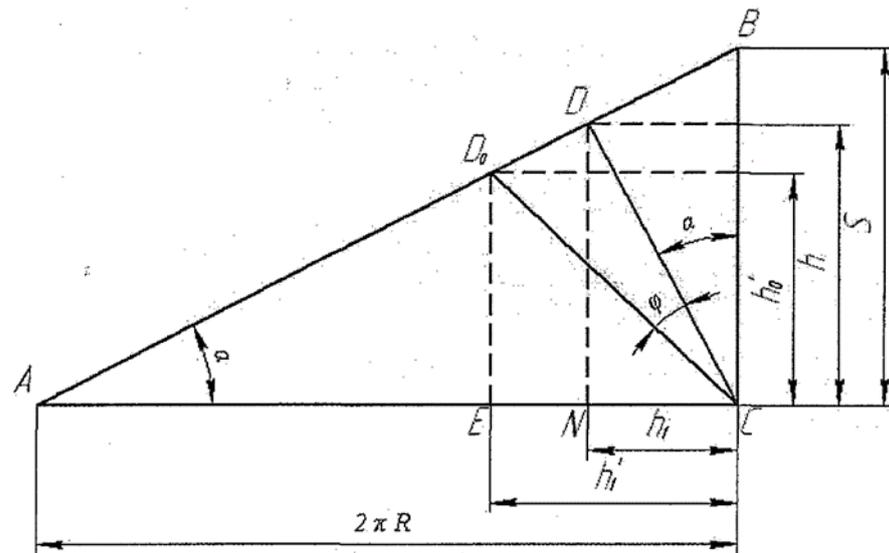


Рисунок 2.5 – Схема переміщення частинки матеріалу по розгортці гвинтової лінії

Осьове переміщення частинки за один оберт шнека позначимо  $h_0$ . З урахуванням кута підйому гвинтової лінії  $\alpha$  та кута відхилення  $\varphi$  воно визначається виразом

$$h_0 = S \frac{\cos \alpha \cdot \cos (\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \quad (2.6)$$

де  $S$  – крок гвинтової лінії, м;

$\alpha$  – кут підйому гвинтової лінії;

$\varphi$  – кут відхилення напрямку абсолютного руху від нормалі до поверхні.

Осьова швидкість частинки при частоті обертання шнека  $n$  (об/хв) становитиме

$$v_0 = \frac{Sn \cos \alpha \cdot \sin (\alpha + \varphi)}{60 \cos \varphi} \quad (2.7)$$

$n$  – частота обертання шнека, об/хв.

Швидкість переміщення частинки в коловому (окружному) напрямку можна записати як

$$v_c = \frac{Sn \cos \alpha \cdot \sin (\alpha + \varphi)}{60 \cos \varphi} \quad (2.8)$$

Після деяких перетворень вирази (2.7) та (2.8) можна переписати у вигляді:

$$v_o = \frac{Sn}{60} (\cos^2 \alpha - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \quad (2.9)$$

$$v_c = \frac{Sn}{60} (\cos \alpha \sin \alpha + \operatorname{tg} \varphi \cos^2 \alpha) \quad (2.10)$$

З формул (2.9) і (2.10) видно, що як осьова, так і окружна швидкості залежать від кроку гвинта  $S$ , кута підйому гвинтової лінії та кута відхилення.

Енергоємність процесу одночасного доущільнення (до-подрібнення) та змішування кормових компонентів, а також якість одержуваної кормосуміші значною мірою залежать від частоти обертання робочого органа змішувача-роздавача.

Якщо частота обертання занадто мала, не забезпечується належна якість суміші з погляду зоотехнічних вимог: частина компонентів проходить через робочий орган транзитом, тобто лишається недоподрібненою й недостатньо перемішаною. Надмірне підвищення частоти обертання, навпаки, призводить до переподрібнення матеріалу та різкого зростання енергоємності процесу. Тому оптимальне значення частоти обертання визначають, виходячи з природи процесу одночасного подрібнення й змішування.

Дослідження показали, що доопрацювання (до-подрібнення) матеріалу відбувається переважно в момент входу ножів у кормовий моноліт, а основне перемішування – при виході корму з робочої зони на вивантажувальний транспортер.

Час одного циклу взаємодії частинки корму з ножем:

$$t_n = \frac{60}{nZ_1}, \quad (2.11)$$

Де  $n$  – частота обертання шнека, об/хв;

$Z_1$  – кількість ножових сегментів на одному витку шнека, шт.

Частинка корму, що лежить на зовнішній кромці шнека, одночасно має:

поступальну швидкість уздовж осі шнека  $v_{\text{пост}}$ ;

швидкість обертального руху  $v_{\text{об}}$  (навколо осі).

Їх геометрична сума утворює абсолютну швидкість  $v$  (рисунок 2.6).

Залежність між цими швидкостями описується співвідношенням

$$v_a = \frac{v_{\text{пост}}}{\cos \varepsilon} \quad v_{\text{пост}} = \frac{v_{\text{об}}}{\tan \varepsilon} \quad (2.12)$$

де  $\varepsilon$  – кут між вектором абсолютної швидкості  $v$  та віссю обертання шнека.

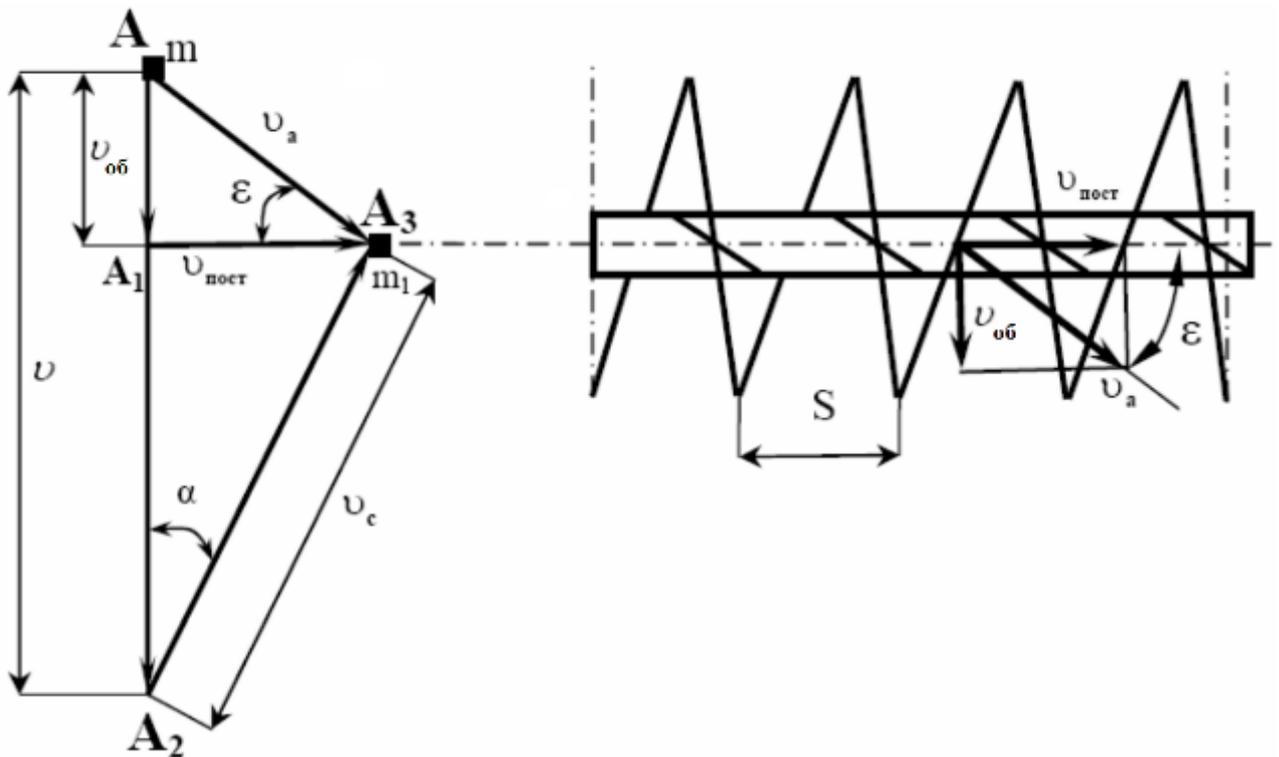


Рисунок 2.6 – Схема до визначення колової швидкості зовнішньої кромки шнека

На рисунку 2.6 вектор  $OA_3$  зображує абсолютну швидкість  $v$  частинки, нахилена під кутом  $\delta$  до осі обертання; відрізок  $A_1A_3$  – це її осьова складова, а  $A$

$A_1$  – колова складова. Вектор  $A_2A_3$  показує швидкість ковзання частинки по гвинтовій поверхні під кутом  $\alpha$  (кут підйому гвинтової лінії) до окружної швидкості.

Із геометрії трикутника швидкостей випливає, що окружна швидкість зовнішньої кромки шнека

$$v - v_{об} = v_{пост} \operatorname{ctg} \alpha \quad (2.13)$$

Тоді

$$v = v_{пост} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \varepsilon) \quad (2.14)$$

Цей вираз пов'язує необхідну окружну швидкість ножів (а отже, і частоту обертання шнека) з осьовою швидкістю руху кормової маси та геометричними параметрами гвинтової поверхні (кут підйому  $\alpha$ ) і траєкторії руху частинки (кут  $\varepsilon$ ).

На основі отриманих співвідношень у подальших розрахунках обирають таку частоту обертання  $n$ , за якої забезпечується компроміс між якістю подрібнення/змішування та енергоємністю процесу, а самі значення уточнюються за результатами експериментальних досліджень.

## 2.4 Висновки

Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему мобільного змішувача-роздавача для малих ферм ВРХ, у якому подрібнення і змішування відбуваються безпосередньо в процесі роздавання корму, без попередньої підготовки суміші в бункері.

Запропоновано шнековий подрібнювально-змішувальний робочий орган з ножовими сегментами по гвинтовій поверхні. Така схема дає змогу поєднати дві

операції - подрібнення довгостеблових кормів і їх інтенсивне змішування - одним робочим органом.

Визначено умови захоплення та різання корму: проаналізовано кут защемлення, кут тертя, форму й висоту ножових сегментів; отримані залежності дозволяють вибрати геометрію ножа, що забезпечує різання зі зсувом при мінімальних енерговитратах.

Розглянуто кінематику руху частинок корму на гвинтовій поверхні шнека та одержано вирази для осьової й окружної складових швидкості потоку, які враховують крок гвинта, кут підйому гвинтової лінії й відхилення траєкторії частинки від нормалі.

Обґрунтовано підхід до вибору частоти обертання шнека: показано, що занадто низька частота призводить до недоподрібнення й недостатнього змішування, а надмірна - до пере-подрібнення та зростання енергоємності; оптимальне значення частоти пропонується визначати за отриманими аналітичними залежностями з подальшим експериментальним уточненням.

## **3 Експериментальні дослідження**

### **змішувача-роздавача кормів**

#### **3.1 Програма та завдання експериментальних досліджень**

З урахуванням вимог, що висуваються до потоково-технологічних ліній та обладнання для приготування кормів, актуальним залишається забезпечення сільськогосподарських тварин збалансованими раціонами, зниження витрат енергії на виробництво кормових сумішей і підвищення надійності вузлів та механізмів.

Тому вирішувалося завдання вибору найбільш працездатної й універсальної конструктивно-технологічної схеми змішувача-роздавача, створення експериментального зразка на основі запропонованої схеми, оцінка його працездатності у виробничих умовах та оптимізація основних конструктивних, технологічних і режимних параметрів, які визначають ефективність робочого процесу.

Потім проводили експериментальну перевірку теоретичних положень, сформульованих у попередніх розділах, і здійснювали виробничі випробування змішувача-роздавача.

Під час перевірки якості роботи машини основну увагу приділяють технологічним показникам виконуваної операції. Найповніша програма випробувань включає такі види оцінки:

а) технічну – характеризує досконалість конструкції, зносостійкість робочих органів та надійність машини в цілому;

б) технологічну – показує, наскільки машина або установка забезпечує виконання зоотехнічних вимог за призначенням;

в) енергетичну – відображає загальну споживану потужність на виконання технологічної операції та її складові (холостий хід, подрібнення, змішування продукту тощо) на найбільш характерних матеріалах і режимах роботи;

- г) експлуатаційну – оцінює використання робочого часу, фактичну продуктивність машини чи агрегату, а також дотримання вимог техніки безпеки;
- д) економічну – визначається за показниками економічної ефективності використання машини.

З урахуванням поставлених завдань програма досліджень передбачала:

- Розроблення та виготовлення експериментальної установки для проведення досліджень.
- Проведення експериментів і оптимізацію конструктивно-режимних параметрів змішувача-роздавача кормів.
- Обробку та аналіз результатів експериментальних досліджень.

### 3.2 Опис експериментальної установки

Дослідження процесів подрібнення та змішування кормових компонентів проводили на спеціально створеній експериментальній установці (рисунок 3.1). Під час дослідів привід двох активних подрібнювально-змішувальних шнеків здійснювався від електродвигуна через редуктор. Конструкція установки дозволяє в необхідних межах змінювати значення факторів, що впливають на досліджувані процеси.

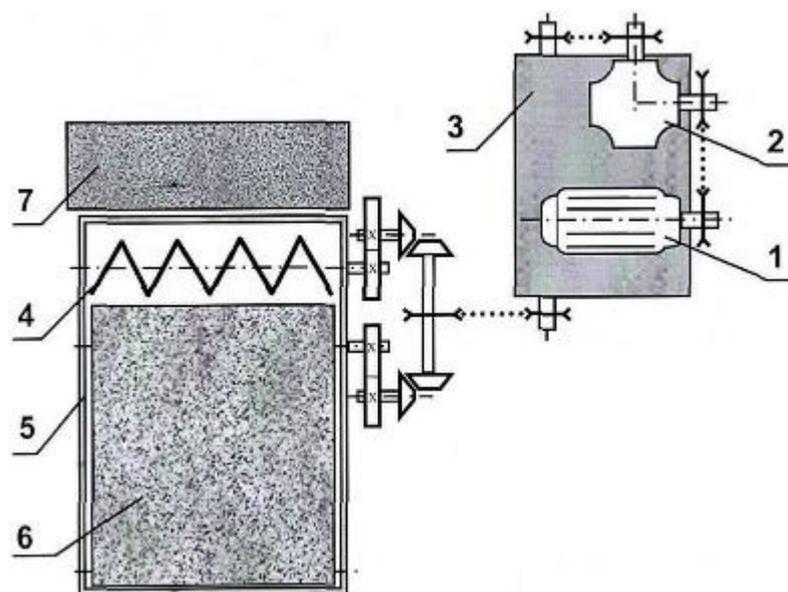


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – розподільний блок; 4 – шнековий апарат; 5 – бункер; 6 – подаючий транспортер; 7 – приймальний лоток.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки

Експериментальна установка складається з бункера 1, у передній частині якого розміщені подрібнювальний шнековий апарат 2 та вивантажувальний транспортер 3. Шнеки з ножами 5, закріплені по зовнішньому периметру гвинтових поверхонь 4, розташовані таким чином, що гвинтова поверхня одного шнека перекриває міжвитковий простір 6 іншого. Подрібнюваний матеріал або компоненти кормосуміші подаються до шнеків поздовжнім транспортером 7. Привід шнекового апарата 2 та вивантажувального транспортера 3 здійснюється від асинхронного електродвигуна потужністю 4,5 кВт.

Робота установки відбувається так. Бункер попередньо заповнюють складовими кормового раціону горизонтальними шарами заданої висоти. Після заповнення бункера вмикають подрібнювальний шнековий апарат.

При роботі гвинтові поверхні 4 обертових шнеків 2 формують зустрічні потоки корму, які частково переміщуються вздовж осей шнеків від однієї стінки бункера до іншої. Ножі 5, встановлені на гвинтових поверхнях, захоплюють довгостебловий корм, переміщують його в осьовому напрямку та подрібнюють, протягуючи через міжвитковий простір 6 паралельно розташованого шнека. Це підвищує експлуатаційну надійність машини, оскільки обертові шнеки не дозволяють корму затримуватися й накопичуватися.

На поверхні шнеків потоки зливаються і переміщуються. Далі кормова маса виштовхується гвинтовими поверхнями 4 шнеків на вивантажувальний транспортер 3. Додаткове інтенсивне перемішування відбувається в зоні перекриття гвинтовою поверхнею одного шнека міжвиткового простору іншого, що ще більше активізує процес змішування.

Такий принцип роботи підвищує ефективність подрібнення та змішування корму й водночас знижує енергоємність процесу завдяки горизонтальному розташуванню робочих органів у передній частині бункера та відсутності необхідності багаторазової циркуляції маси в його об'ємі.

Для оцінювання ефективності процесу одночасного подрібнення та змішування було обрано три критерії оптимізації:

$\delta$  – неоднорідність суміші;

$\lambda$  – однорідність гранулометричного складу;

$N_p$  – потужність, що витрачається на подрібнення й змішування матеріалу.

Загальний характер функціональної залежності, яка описує процес одночасного подрібнення й змішування продукту, встановлювали за допомогою пошукових експериментів. Було з'ясовано, що в околі екстремуму відгук системи описується нелінійною залежністю, тому лінійна модель є неадекватною. Для коректного відображення процесу доцільно застосовувати поліном другого порядку, який достатньо повно описує перебіг одночасного подрібнення та змішування компонентів.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

Дослідження впливу окремих чинників на вибрані критерії оптимізації дозволяє обґрунтувати вид математичної моделі, оцінити достовірність теоретичних залежностей і вибрати центр багатофакторного експерименту.

За результатами попереднього аналізу умовам значимості відповідають чотири фактори:

$W_c - X_1$  – вологість грубих кормів, %;

$S - X_2$  – крок гвинтової лінії шнека, м;

$Z_1 - X_3$  – кількість ножових сегментів на одному витку шнека, шт;

$v_{п} - X_4$  – лінійна швидкість подаючого транспортера, м/с.

На основі попередніх дослідів були встановлені інтервали варіювання факторів, що відповідають стаціонарній області функції відгуку. Подальші дослідження процесу одночасного подрібнення та змішування проводили саме за цими факторами (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Позначення	X1	X2	X3	X4
Центр експерименту	0	20	0,3	11	0,025
Інтервал варіювання	$\Delta$	5	0,1	3	0,020
Верхній рівень	+1	25	0,4	14	0,045
Нижній рівень	-1	15	0,2	8	0,005

Тобто вологість грубих кормів змінювали в діапазоні 15–25 %, крок шнека – 0,2–0,4 м, кількість сегментів на виток – 8–14, а лінійну швидкість транспортера – 0,005–0,045 м/с, що забезпечує дослідження процесу в області, близькій до оптимальних режимів.

Для обґрунтування впливу окремих факторів на основні технологічні та конструктивно-режимні параметри за результатами обробки експериментальних даних були отримані рівняння регресії другого порядку (за допомогою програми

Statistica 6.0), які адекватно описують процес одночасного подрібнення й змішування кормів.

Після вилучення статистично незначущих коефіцієнтів розкодовані рівняння мають вигляд:

1) Для показника неоднорідності суміші  $\delta$

$$\delta = 8825,429 - 9,99114 W_c + 163,358 S + 10,8383 Z_1 + 9,9232 v_n - 440,854 W_c S - 0,2492 W_c v_n - 57,2 S Z_1 - 2070,4684 S v_n - 7,37567 Z_1 v_n + 1,6793 W_c^2 - 400,868 S^2 - 1,16967 Z_1^2 - 1,372 v_n^2.$$

2) Для однорідності гранулометричного складу  $\lambda$

$$\lambda = 357,201 + 23,7612 W_c - 425,984 S + 10,164 Z_1 - 37,31 v_n + 18,512 W_c S - 39,16 W_c Z_1 - 62,88562 W_c v_n - 286,1 S Z_1 + 251,382 S v_n - 9,65765 Z_1 v_n - 4,0872 W_c^2 + 1047,8 S^2 - 1,02487 Z_1^2 + 5,0901 v_n^2.$$

3) Для питомої потужності  $N_{\pi}$

$$N_{\pi} = 1777,107 + 4,07086 W_c - 41,8262 S + 0,3773 Z_1 - 1,95678 v_n - 78,676 W_c S - 1,52635 W_c v_n + 32,604 S Z_1 + 94,64 S v_n - 0,76692 Z_1 v_n - 0,6865 W_c^2 + 101,4 S^2 - 0,040293 Z_1^2 + 0,26786 v_n^2.$$

Адекватність побудованих математичних моделей перевіряли за критерієм Фішера. Табличне значення при рівні значущості  $\Delta=0,05$  становить  $F_{\text{табл}}=2,8$ . Розраховані значення критерію для моделей дорівнюють:

- для неоднорідності суміші –  $F=2,72$ ;
- для однорідності гранулометричного складу –  $F=2,67$ ;
- для питомої потужності –  $F=2,6$ .

Оскільки в усіх випадках  $F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$ , отримані рівняння регресії вважаються адекватними і задовільно описують реальний процес одночасного подрібнення та змішування кормових компонентів у розробленому роздатчику-змішувачі.

У завдання дослідження входило вивчити вплив чотирьох незалежних факторів -  $W_c$  (вологість грубих кормів),  $S$  (крок витка шнека),  $Z_1$  (кількість сегментів на одному витку шнека),  $v_n$  (лінійна швидкість подаючого транспортера) - та визначити їх оптимальне поєднання під час роботи змішувача-роздавача кормів. У зв'язку з цим необхідно було знайти компроміс між трьома критеріями оптимізації: однорідністю гранулометричного складу, неоднорідністю суміші та питомою потужністю, оскільки екстремум однієї поверхні відгуку обмежується іншими.

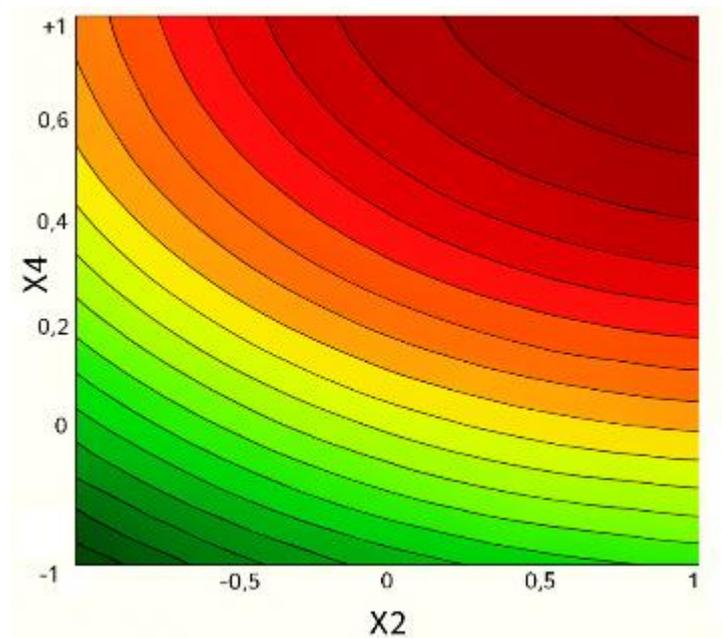


Рисунок 3.3 – Переріз поверхні неоднорідності суміші на площину  $X_2(S)X_4(v_n)$  при  $X_1 = -1$  ( $W_c = 15\%$ ) та  $X_3 = 0$  ( $Z_1 = 11$  шт.).

У результаті досліджень встановлено, що вирішальний вплив на процес змішування мають конструктивно-режимні параметри: швидкість подаючого транспортера  $v_n$  ( $X_4$ ) та крок витка шнека  $S$  ( $X_2$ ).

За значень кроку витка шнека  $S = 0,20-0,25$  м і швидкості подаючого транспортера  $v_n = 0,005-0,017$  м/с (див. рисунок 10) шнекова навивка, виконана в протилежних напрямках, формує два зустрічні потоки вздовж осей шнеків, інтенсифікуючи процес змішування. За таких режимів неоднорідність суміші перебуває на оптимальному рівні:  $\delta = 6-14,3\%$ .

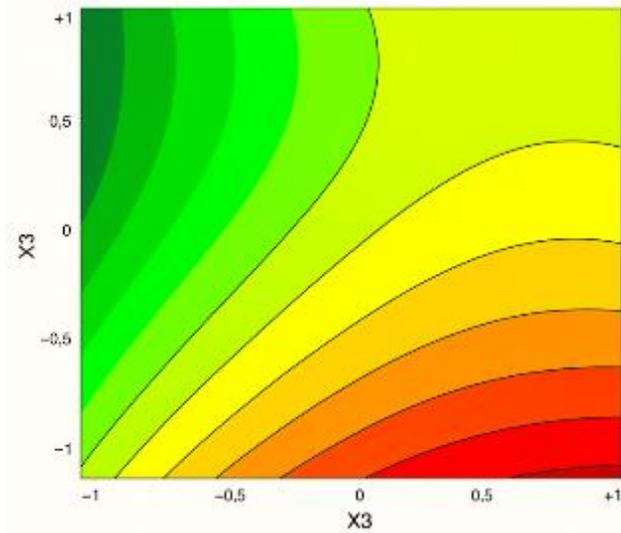


Рисунок 3.4 – Переріз поверхні однорідності гранулометричного складу на площину  $X_3(Z_1)X_4(v_n)$  при  $X_1 = -1$  ( $W_c = 15\%$ ) та  $X_2 = 0$  ( $S = 0,3$  м)

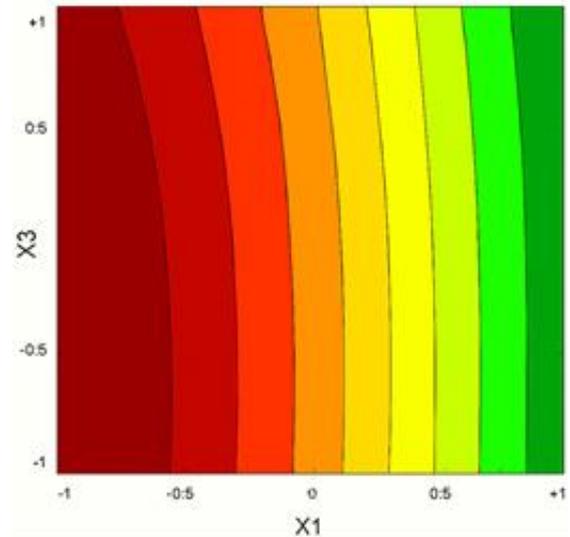


Рисунок 3.5 – Переріз поверхні однорідності гранулометричного складу на площину  $X_1(W_c)X_3(Z_1)$  при  $X_2 = -1$  ( $S = 0,2$  м) та  $X_4 = 0$  ( $v_n = 0,025$  м/с)

Збільшення кроку шнека від 0,25 до 0,36 м та швидкості транспортера  $v_n$  від 0,017 до 0,045 м/с призводить до зростання неоднорідності суміші до 15–20 %. Це пояснюється тим, що до робочих органів надходить надто велика кількість кормового матеріалу, і взаємодія з подрібнювально-змішувальним апаратом виходить за межі, установлені зоотехнічними вимогами.

Результати вивчення впливу факторів на процес подрібнення показали суттєву роль вологості грубих кормів  $X_1(W_c)$ , кількості сегментів  $X_3(Z_1)$  та швидкості подаючого транспортера  $X_4(v_n)$ .

З аналізу двовимірного перерізу поверхні відгуку  $X_3(Z_1)–X_4(v_n)$  видно, що за збільшення швидкості від 0,018 до 0,045 м/с при мінімальній кількості сегментів  $Z_1 = 8$  шт. однорідність гранулометричного складу знижується до 84–86 %, що вже не відповідає нормам зоотехнічних вимог. Це обумовлено недостатньою інтенсивністю впливу ножових сегментів на кормову суміш.

У діапазоні швидкостей  $v_n = 0,005–0,017$  м/с та кількості сегментів  $Z_1 = 11–14$  шт. однорідність гранулометричного складу досягає 85–95 %. Такий результат пояснюється тим, що до подрібнювально-змішувального апарата надходить

менша кількість корму в одиницю часу, що забезпечує більш активну дію сегментів на компоненти суміші.

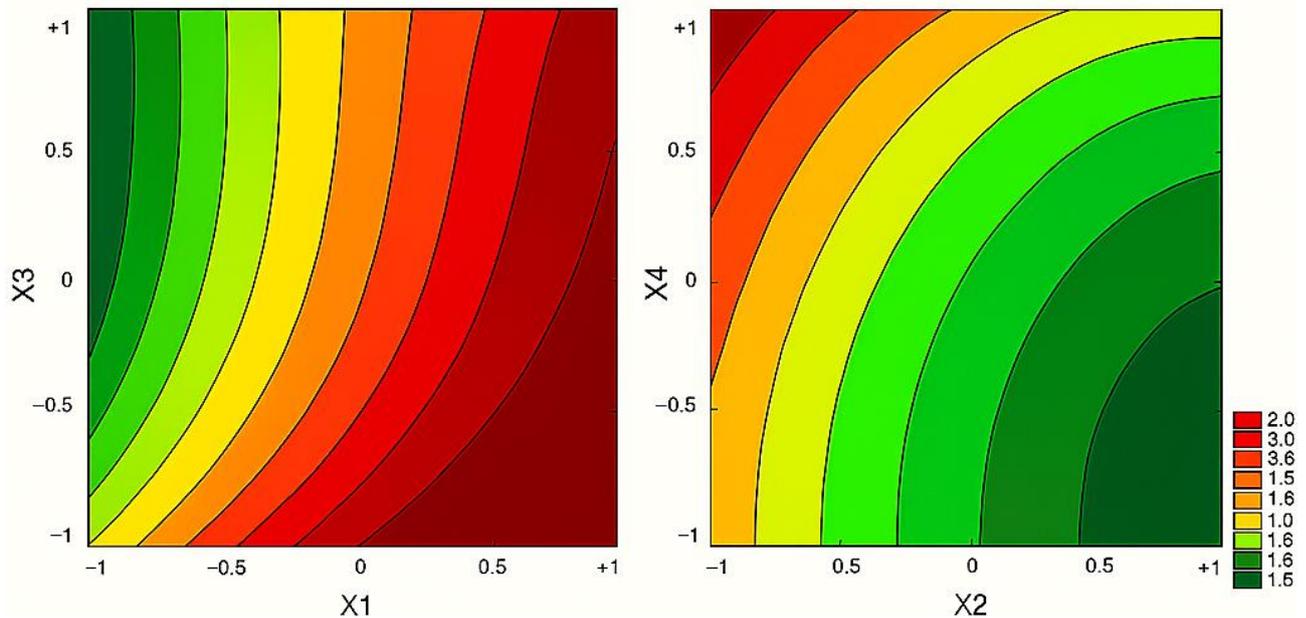


Рисунок 3.6 – Переріз поверхні питомої потужності на площину  $X_1(W_c)X_3(Z_1)$  при  $X_2 = -1$  ( $S = 0,2$  м) та  $X_4 = 0$  ( $v_n = 0,025$  м/с).  
 Рисунок 3.7 – Переріз поверхні питомої потужності на площину  $X_2(S)X_4(v_n)$  при  $X_1 = -1$  ( $W_c = 15$  %) та  $X_3 = 0$  ( $Z_1 = 11$  шт.).

Аналіз впливу вологості грубих кормів  $W_c$  на процес подрібнення показує, що при вологості понад 22 % і довжині частинок більше 300 мм подрібнювально-змішувальний шнековий робочий орган стає практично непрацездатним: шари корму сходять без належного подрібнення й лише частково перемішуються. Водночас спостерігається часткове намотування стебел на ножові сегменти, що знижує однорідність гранулометричного складу до  $\approx 80$  %.

Перерізи поверхонь відгуку також показали, що найбільший вплив на питому потужність мають вологість грубих кормів  $X_1(W_c)$ , швидкість подаючого транспортера  $X_4(v_n)$  та крок витка шнека  $X_2(S)$ .

При вологості  $W_c = 15\text{--}17$  % значення питомої потужності мінімальні й становлять  $N_{\text{п}} = 1,1\text{--}1,7$  кВт.

Коли вологість перевищує 22 %, сила різання на один сегмент зростає внаслідок збільшення густини корму, який проходить через апарат за одиницю часу. Це призводить до підвищення питомої потужності до  $N_{\text{п}} = 2,7$  кВт.

Збільшення питомої потужності до 2,7 кВт при кроці витка шнека  $S = 0,20\text{--}0,25$  м зумовлене зростанням сил тертя через більшу площу контакту навивки з кормовими компонентами, а також підвищенням ущільнення корму біля стінок бункера. Подальше збільшення кроку витка шнека від 0,26 до 0,40 м, навпаки, приводить до зниження питомої потужності приблизно вдвічі.

На основі розв'язання компромісної задачі та аналізу двовимірних перерізів поверхонь відгуку було встановлено оптимальні параметри роботи роздатчика-змішувача кормів:

- 1) вологість грубих кормів  $W_{\text{с}} = 17\text{--}20$  %;
- 2) крок витка шнека  $S = 0,26\text{--}0,30$  м;
- 3) кількість сегментів на одному витку шнека  $Z_1 = 10\text{--}12$  шт.;
- 4) лінійна швидкість подаючого транспортера  $v_{\text{н}} = 0,013\text{--}0,019$  м/с.

За таких параметрів готова кормова суміш відповідає зоотехнічним вимогам: неоднорідність суміші  $\delta \approx 12,5$  %; однорідність гранулометричного складу  $\lambda \approx 87,1$  %; питома потужність на одну фазу електродвигуна становить  $N_{\text{п}} \approx 1,6$  кВт·с/кг.

Аналіз поверхонь відгуку та результатів експериментів показав, що найбільш сильний вплив на процес одночасного подрібнення та змішування чинить лінійна швидкість подаючого транспортера. Збільшення  $v_{\text{н}}$  від 0,020 до 0,045 м/с приводить до зростання питомої потужності процесу до  $N_{\text{п}} \approx 2,7$  кВт, зниження однорідності гранулометричного складу до  $\approx 80$  % і збільшення неоднорідності суміші до  $\approx 20$  %, що є закономірним наслідком підвищеного надходження кормової маси до подрібнювально-змішувального апарата.

### 3.4 Висновки

1. Розроблено та виготовлено експериментальну установку з шнековим подрібнювально-змішувальним апаратом, яка забезпечує варіювання основних

конструктивно-режимних параметрів і дає змогу моделювати роботу роздатчика-змішувача в умовах ферми.

2. Встановлено, що на процес одночасного подрібнення й змішування найбільше впливають: вологість грубих кормів  $W_c$ , крок витка шнека  $S$ , кількість сегментів на виток  $Z_1$  та лінійна швидкість подаючого транспортера  $v_n$ .

3. Отримано регресійні рівняння другого порядку для трьох критеріїв оптимізації (неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу, питома потужність), які визнано адекватними за критерієм Фішера та можуть використовуватися для інженерних розрахунків.

4. Показано, що збільшення швидкості подаючого транспортера понад 0,02 м/с та надмірний крок витка шнека призводять до погіршення якості змішування (зростання неоднорідності до 18–20 %) і підвищення питомої потужності до  $\approx 2,7$  кВт.

5. Встановлено критичний вплив вологості: при  $W_c > 22$  % шнековий робочий орган працює нестабільно, спостерігається намотування стебел на сегменти та зниження однорідності гранулометричного складу до  $\sim 80$  %.

6. На основі компромісної оптимізації визначено раціональні параметри роботи роздатчика-змішувача:  $W_c = 17\text{--}20$  %,  $S = 0,26\text{--}0,30$  м,  $Z_1 = 10\text{--}12$  сегментів/виток,  $v_n = 0,013\text{--}0,019$  м/с.

7. За оптимальних параметрів забезпечується відповідність зоотехнічним вимогам: неоднорідність суміші близько 12,5 %, однорідність гранулометричного складу  $\sim 87$  %, питома потужність близько 1,6 кВт·с/кг, що підтверджує ефективність запропонованої конструкції роздатчика-змішувача.

## **4 Охорона праці**

### **4.1 Загальні вимоги охорони праці при роздаванні кормів на фермах ВРХ**

Процес приготування та роздавання кормів на фермах великої рогатої худоби відноситься до робіт підвищеної небезпеки, оскільки поєднує дію механічних, електричних, санітарно-гігієнічних, хімічних та біологічних факторів. Організація таких робіт повинна здійснюватися відповідно до Закону України «Про охорону праці», галузевих правил з охорони праці у сільському господарстві, вимог електробезпеки, пожежної та санітарної безпеки. До обслуговування машин для приготування та роздавання кормів допускаються працівники не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, первинний інструктаж, навчання безпечним прийомам роботи і перевірку знань з реєстрацією в установленому порядку. Вони мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту – спецодягом, спецвзуттям, рукавицями, за необхідності респіратором для захисту від пилу, захисними окулярами та протишумовими навушниками.

Основними небезпечними виробничими факторами при роздаванні кормів є рухомі та обертові частини машин (шнеки, транспортери, карданні вали, редуктори), які можуть спричинити затягування одягу або травмування кінцівок, підвищена запиленість повітря кормами та мікроорганізмами, шум і вібрація від роботи двигунів та редукторів, а також можливість ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції, відсутності заземлення або неправильній експлуатації електрообладнання. У тваринницьких приміщеннях додатково діють шкідливі гази (аміак, сірководень, вуглекислий газ), мікроклімат може відхилятися від норм за температурою та вологістю, що посилює негативний вплив інших факторів. Територія ферми, кормові проходи, майданчики завантаження та руху мобільної техніки повинні бути рівними, очищеними від сторонніх предметів, добре освітленими, без слизьких ділянок, ям та перешкод.

Усі стаціонарні та мобільні машини для приготування і роздавання кормів повинні мати технічно справні огороження небезпечних зон, захисні кожухи на ремінних і ланцюгових передачах, пристрої для аварійного вимкнення. Забороняється працювати на машинах із знятими або пошкодженими захисними огороженнями, проводити очищення, регулювання чи ремонт під час роботи приводу, запускати обладнання при наявності людей у небезпечних зонах. Важливим елементом профілактики травматизму є чітке розмежування пішохідних і транспортних шляхів, дотримання безпечної швидкості руху техніки по території ферми та недопущення перебування сторонніх осіб – особливо дітей – у зоні роздавання кормів.

#### **4.2 Оцінка з точки зору охорони праці розробленого кормороздавача**

Розроблений роздатчик-змішувач кормів для малих ферм ВРХ являє собою мобільну машину з горизонтальним шнековим подрібнювальним-змішувальним органом, розташованим у передній частині бункера, та системою подачі корму до вилученого транспортера. Конструктивні особливості цієї машини мають суттєвий вплив на безпеку праці оператора. Горизонтальне розміщення двох шнеків у закритому бункері, перекриття міжвиткового простору та наявність ножових сегментів створюють умови для інтенсивного подрібнення й змішування без необхідності багаторазової циркуляції корму в об'ємі бункера, що скорочує тривалість роботи і, відповідно, час дії шуму, вібрації та пилу на працівників.

З точки зору безпеки позитивним є те, що основні робочі органи конструктивно віддалені від зони перебування оператора, можуть бути повністю закриті огороженнями і ґратами, а завантаження кормів здійснюється переважно ззовні, без проникнення людини всередину бункера. Привід шнекового апарата через редуктор та розподільчий блок дозволяє передбачити застосування пускозахисної апаратури, автоматичних вимикачів, теплових реле й заземлення корпусу електродвигуна, що знижує ризик ураження електричним струмом. Зменшення енергоємності процесу в порівнянні з традиційними

бункерними змішувачами сприяє меншому тепловиділенню і навантаженню на електромережу, а отже, зменшує ймовірність перегріву проводки, двигунів і замикань.

Разом із тим машина має потенційно небезпечні зони, які при неправильній експлуатації можуть спричинити травмування. До них належать зона шнеків у передній частині бункера, місця завантаження, оглядові люки, привідні елементи, карданний вал при агрегуванні з трактором. Для забезпечення належного рівня безпеки необхідно передбачити жорстке огороження шнекового апарата з боку оператора, влаштувати блокування, що унеможливило запуск при відкритих люках, застосувати суцільний захисний кожух на карданному валу, виконати надійне заземлення всіх металевих частин, пов'язаних з електрообладнанням. При дотриманні цих вимог, проведенні своєчасного технічного обслуговування та навчанні персоналу розроблений кормороздавач може вважатися технічно безпечним для експлуатації в умовах малих ферм.

#### **4.3 Проєкт інструкції з охорони праці оператора розробленого кормороздавача**

Інструкція з охорони праці для оператора змішувача-роздавача кормів встановлює єдині вимоги до безпечного виконання робіт на всіх етапах – від підготовки до роботи до її завершення та дій у аварійних ситуаціях. До самостійної роботи допускаються особи, що досягли 18 років, мають відповідну професійну підготовку, пройшли вступний та первинний інструктаж, навчання безпечним прийомам роботи з машинно-тракторним агрегатом, перевірку знань з охорони праці та пожежної безпеки, а також медичний огляд. Оператор повинен знати будову й принцип дії роздатчика-змішувача, призначення основних вузлів і органів керування, допустимі режими роботи, порядок запуску та зупинки, правила догляду й технічного обслуговування, вимоги електробезпеки й пожежної безпеки, а також основи надання першої допомоги потерпілим.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний привести до ладу робоче місце, оглянути територію руху, переконатися у відсутності людей та сторонніх предметів у зоні дії машини. Необхідно уважно перевірити стан бункера, шнеків, транспортерів, огорожень, карданного вала, гальмівної системи та освітлення тягача, а при електроприводі – цілісність кабелів, наявність заземлення та справність пускозахисної апаратури. Роботу дозволяється розпочинати тільки за умови повної технічної справності обладнання. У процесі експлуатації оператор повинен стежити за рівномірним завантаженням бункера, не допускати перевищення допустимої маси корму, працювати в установленому режимі, не перебувати в зоні можливого викидання корму і не нахилитися над горловиною бункера при працюючих шнеках. Очищення шнеків і транспортерів, усунення забоїв, змазування вузлів дозволяється виконувати лише після повної зупинки робочих органів, відключення електроживлення або зупинки двигуна трактора та вжиття заходів проти його випадкового запуску.

Після закінчення роздавання корму оператор повинен зупинити подачу, дочекатися повного виходу корму з бункера й повної зупинки всіх рухомих частин, вимкнути привод, відключити електроживлення, очистити бункер, транспортери й прилеглу територію від залишків корму, які можуть спричинити ковзання чи загнивання. Виявлені несправності необхідно зафіксувати та передати інформацію відповідальній особі для організації ремонту. У випадку травмування працівника, загорання електрообладнання, появи диму, запаху горілої ізоляції або інших аварійних ознак оператор зобов'язаний негайно зупинити роботу, відключити машинно-тракторний агрегат або електроустановку, вивести людей із небезпечної зони, надати першу допомогу і викликати медичну чи пожежну службу. Строге дотримання інструкції дозволяє значно знизити ризик травматизму та забезпечити надійну й безпечну роботу розробленого кормороздавача.

#### **4.4 Висновки**

Питання охорони праці при механізованому приготуванні та роздаванні кормів на фермах ВРХ є невід'ємною складовою проектування та впровадження

нової техніки. Аналіз умов роботи, небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а також конструктивних особливостей розробленого роздатчика-змішувача показав, що за умови оснащення машини необхідними захисними огороженнями, блокуваннями, надійним електрообладнанням та впровадження інструкції з охорони праці для оператора можливо забезпечити достатньо високий рівень безпеки праці.

Розроблена конструкція сприяє зменшенню тривалості контакту працівників з шкідливими факторами, зменшенню обсягу ручної праці, полегшенню умов обслуговування, а отже, зниженню виробничого травматизму та професійних захворювань. Систематичне проведення інструктажів, своєчасне технічне обслуговування, контроль за станом захисних пристроїв та дотримання оператором вимог безпеки є основою безпечної експлуатації розробленого кормороздавача в умовах малих ферм великої рогатої худоби.

## 5 Економічне порівняння технологій роздавання кормів

### 5.1 Вихідні дані для розрахунків

Для порівняння ефективності запропонованого удосконалення розглядаються два варіанти забезпечення процесу приготування та роздавання кормів:

- базовий варіант – використання серійного роздавача РСП-10, який по черзі об'їжджає сховища кормів, завантажується вже підготовленими до згодовування кормами, дозує компоненти, готує суміш і роздає її до годівниць;

- проектний варіант – використання удосконаленого роздавача ПКТ-10, який працює за аналогічною схемою, але має вдосконалений подрібнювально-змішувальний робочий орган та інші конструктивні покращення.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку економічних показників

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Потужність на привід, N	кВт	22,0	12,8
Час роботи на добу, t	год	2,2	3,0
Обслуговуючий персонал, n	чол.	1	1
Балансова вартість роздавача, С	грн	258 600	144 800
у т.ч. вартість переобладнання	грн	–	22 800
Кількість робочих днів на рік, D	діб	210	210
Годинна тарифна ставка, f	грн/год	120,0	120,0
Коефіцієнт нарахувань на зарплату, кзп	-	1,22	1,22
Норматив амортизації, Eа	%	10	10
Норматив на ремонт і ТО, Eр	%	8	8
Питома витрата палива, g	кг/кВт·год	0,256	0,256
Вартість дизельного пального, спмм	грн/кг	70,24	70,24

Таким чином, порівняння економічних показників зводиться до зіставлення експлуатаційної ефективності двох машин за близьких умов використання (обсяги роздавання, режими роботи, кількість обслуговуючого персоналу тощо).

## 5.2 Результати розрахунків

Таблиця результатів демонструє, що удосконалений кормороздавач ПКТ-10 має відчутні переваги порівняно з базовим варіантом РСП-10 за сукупністю економічних показників. Хоча обидві машини виконують однакову технологічну операцію і обслуговуються одним оператором, проєктний варіант характеризується меншою встановленою потужністю приводу та нижчою балансовою вартістю. Це безпосередньо позначається на структурі витрат: при однакових нормативних відсотках амортизації та ремонту суми амортизаційних відрахувань і витрат на технічне обслуговування для ПКТ-10 істотно менші, ніж для РСП-10. Особливо помітна різниця у витратах на паливо: завдяки зменшеній потужності приводу та раціональнішому режиму роботи проєктний варіант споживає менше дизельного пального в розрахунку на рік, що в умовах високих цін на ПММ дає значну економію.

На фоні цього дещо зростають витрати на заробітну плату в проєктному варіанті, оскільки машина працює довше протягом доби і, відповідно, річний фонд робочого часу оператора більший. Проте вплив цього чинника є менш суттєвим, ніж ефект від зниження паливних, ремонтних та амортизаційних витрат. У підсумку загальні річні експлуатаційні витрати для ПКТ-10 є нижчими, ніж для РСП-10, приблизно на 33,6 тис. грн. Така економія дає змогу окупити додаткові капітальні вкладення, пов'язані з переобладнанням базової машини, менш ніж за один рік (орієнтовно 0,68 року), що для сільськогосподарської техніки вважається дуже сприятливим показником. Таким чином, таблиця переконливо підтверджує, що впровадження удосконаленого кормороздавача економічно обґрунтоване: він не лише знижує експлуатаційні витрати в поточній діяльності ферми, а й забезпечує швидке повернення інвестицій у модернізацію.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності запропонованого  
удосконалення

Показник	Поз.	Базовий варіант	Проектний варіант
Потужність на привід	кВт	22,0	12,8
Час роботи на добу	год	2,2	3,0
Обслуговуючий персонал	чол.	1	1
Вартість машини	грн	258 600	144 800
у т.ч. переобладнання	грн	–	22 800
Річні експлуатаційні витрати, всього	грн	296 943,2	263 294,4
у т. ч. заробітна плата з нарахуваннями	грн	67 636,8	92 232,0
амортизаційні відрахування	грн	25 860,0	14 480,0
витрати на ремонт і ТО	грн	20 688,0	11 584,0
витрати на паливо	грн	182 758,4	144 998,4
Економія експлуатаційних витрат	грн	–	33 648,8
Строк окупності додаткових вкладень	роки	–	0,68

### 5.3 Висновки

Економічний розрахунок показав, що впровадження удосконаленого кормороздавача ПКТ-10 залишається економічно доцільним. Модернізована машина забезпечує зниження річних експлуатаційних витрат на 33,6 тис. грн у порівнянні з базовим варіантом.

Отриманий строк окупності додаткових капітальних вкладень, пов'язаних із переобладнанням кормороздавача (близько 0,68 року), свідчить про високу ефективність запропонованого технічного рішення в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва.

## Загальні висновки

1. У першому розділі на основі аналізу існуючих поточно-технологічних ліній приготування та роздавання кормів встановлено, що більшість застосовуваних машин забезпечують прийнятну якість змішування, але є енерго- та металомісткими, вимогливими до попереднього подрібнення і малопридатними для малих ферм ВРХ. Обґрунтовано доцільність використання мобільних роздавачів-змішувачів, які поєднують операції подрібнення, змішування та роздавання безпосередньо в момент видачі корму в годівниці, що дає змогу знизити енергоємність процесу й трудові витрати.

2. У другому розділі розроблено конструктивно-технологічну схему шнекового роздавача-змішувача та теоретично обґрунтовано основні параметри його робочого органа. Визначено умови защемлення і різання довгостеблових кормів ножовими сегментами, вплив кроку навивки, геометрії шнека та кутів тертя на рух частинок і формування потоку, побудовано математичні моделі процесу одночасного подрібнення та змішування, які використано для вибору раціональних конструктивно-режимних параметрів.

3. У третьому розділі на експериментальній установці досліджено вплив вологості грубих кормів, кроку витка шнека, кількості сегментів на витку та швидкості подаючого транспортера на неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу й питомі витрати потужності. За результатами багатофакторного експерименту отримано регресійні моделі, встановлено області раціональних параметрів ( $W_c \approx 17\text{--}20\%$ ,  $S \approx 0,26\text{--}0,30$  м,  $Z_1 \approx 10\text{--}12$ ,  $v_n \approx 0,013\text{--}0,019$  м/с), за яких забезпечуються зоотехнічні вимоги до якості суміші при помірних енерговитратах.

4. У четвертому розділі показано, що запропонована конструкція за умови оснащення захисними огороженнями, блокуваннями, справною електроапаратурою та виконання вимог розробленої інструкції з охорони праці забезпечує прийнятний рівень безпеки для оператора. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів засвідчив, що горизонтальне розташування шнекових

органів у закритому бункері й раціональна організація робочого місця зменшують ризик травмування, вплив шуму, пилу й важкої ручної праці.

**5.** У п'ятому розділі доведено економічну доцільність впровадження удосконаленого роздавача-змішувача: у порівнянні з базовим варіантом отримано зниження річних експлуатаційних витрат приблизно на 33,6 тис. грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень становить менше одного року. Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що поставлена мета – підвищення ефективності процесу приготування та роздавання кормових сумішей на малих фермах ВРХ шляхом удосконалення конструкції роздавача-змішувача, обґрунтування його параметрів, оцінки безпеки й економічної ефективності – досягнута, а запропоноване технічне рішення є технологічно, енергетично та економічно виправданим.

## Бібліографія

1. Li, W., Wen, B., Song, P., Shi, Y., Zhang, J., Li, J., Liang, J., Li, T., & Qu, B. (2021). Power consumption analysis and experimental study on the kneading and cutting process of licorice stem in horizontal total mixed ration mixer. *Processes*, 9(12), 2108.
2. Wang, M., Wang, K., Wen, B., Li, J., Cen, H., Li, L., & Jing, W. (2023). Design and testing of segmented spiral total mix ration mixer. *Processes*, 11(11), 3124.
3. Vegricht, J., Miláček, P., Ambrož, P., & Machálek, A. (2007). Parametric analysis of the properties of selected mixing feeding wagons. *Research in Agricultural Engineering*, 53(3), 85–93.
4. Tian, F., Chen, Y., Song, Z., Yan, Y., Fade, L., Wang, Z., & Xiong, B. (2020). Finite element simulation and performance test of loading and mixing characteristics of self-propelled total mixed ration mixer. *Journal of Engineering*, 2020, 6875816.
5. Bach, A. (2024). Back to basics: Precision while mixing total mixed rations for dairy cows. *Journal of Dairy Science Advances*.
6. Buckmaster, D. (2013). Optimizing performance of TMR mixers. Purdue University Extension.
7. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), 101–110.
8. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskiy, I., & Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), 47–57.
9. Новицький, А. В., & Ружило, З. В. (2016). Аналіз і дослідження надійності засобів для приготування і роздавання кормів. Київ: НУБіП України.
10. Постельга, С. (2021). Тестування самохідного змішувача-роздавача Siloking SelfLine 4.0 Premium 2215. *Сільськогосподарські машини та обладнання: прогнозування, конструювання, випробування*, 28(42), 150–161.
11. DLG. (2016). Self propelled vertical feed mixer wagon SILOKING SelfLine 4.0 Premium 2215–19. Full test (DLG Test Report 6418).

12. Novitskiy, A., Banniy, O., & Novitskiy, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. *Machinery & Energetics*, 14(1), 57–67.
13. Postelga, S. S. (2018). Technical means for preparation and distribution of feed for cattle: Research report. УкрНДПІВТ ім. Л. Погорілого.
14. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ: Держспоживстандарт України.
15. ДСТУ 8424:2015. Сільськогосподарська техніка. Машини спеціалізовані та універсальні і машинні комплекси. Методи експлуатаційно-технологічної оцінки на етапі випробування. Київ.
16. ДСТУ EN 1553:2004. Сільськогосподарські машини. Самохідні, навісні, напівнавісні та причіпні машини. Загальні вимоги безпеки. Київ.
17. ДСТУ EN ISO 4254-1:2015. Сільськогосподарська техніка. Вимоги безпеки. Частина 1. Загальні вимоги. Київ.
18. Бойко, А. І., Харьковський, І. С., Новицький, А. В., & Коробко, М. М. (2019). Обґрунтування конструкцій зміцнених робочих органів ґрунтообробних і посівних машин. Київ: НУБіП України.
19. Банга, В. І., Дмитрів, В. Т., Сиротюк, В. М., & Городняк, Р. В. (2017). Автоматизований роздавач-дозатор комбікормів для індивідуальної нормованої годівлі корів. Львів: Сполом.
20. Кондур, С. М. (2016). Параметри і режими роботи електромагнітного вакуумного насоса доїльної установки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, 10, 80–86.
21. Novitskiy, A., Banniy, O., & Bystryi, V. (2021). Research on the influence of operational factors on the technical condition of agricultural machinery. *Machinery & Energetics*, 12(4), 39–46.
22. RMH Mixers. (2022). Why TMR feed mixers outperform other dairy feeding systems. RMH Technical Brochure.
23. Trioliet. (2022). How to optimize my TMR mixer? Service guideline for mixer-feeder wagons.

## ДОДАТКИ

ДНШРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

## Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів кормороздавача для великої рогатої худоби

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-3-24  
Інгор Іван Сергійович

**Керівник:** PhD, старший викладач  
Білоус Ілля Михайлович

Дніпро 2025

### Мета і задачі досліджень

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу приготування кормових сумішей на малих фермах великої рогатої худоби шляхом удосконалення змішувача-роздавача кормів та обґрунтування його конструктивно-режимних і технологічних параметрів.

Відповідно до поставленої мети та проведеного аналізу сформульовано такі завдання дослідження:

- виявити сучасні тенденції розвитку технічних засобів для приготування повнораціонних кормових сумішей на малих фермах ВРХ та удосконалити класифікацію бункерних змішувачів-роздавачів кормів, що дозволить визначити перспективний напрям створення нового технічного засобу й обґрунтувати його конструктивно-технологічну схему;
- розробити аналітичні залежності для розрахунку основних конструктивно-режимних і технологічних параметрів змішувача-роздавача кормів та побудувати математичну модель процесу змішування компонентів кормової суміші шнековим робочим органом;
- створити експериментальну установку змішувача-роздавача кормів, провести експериментальні дослідження та визначити основні фактори, що впливають на показники однорідності суміші, гранулометричного складу та питомої потужності;
- провести економічну оцінку ефективності впровадження вдосконаленого змішувача-роздавача кормів.

### Аналіз стану питання

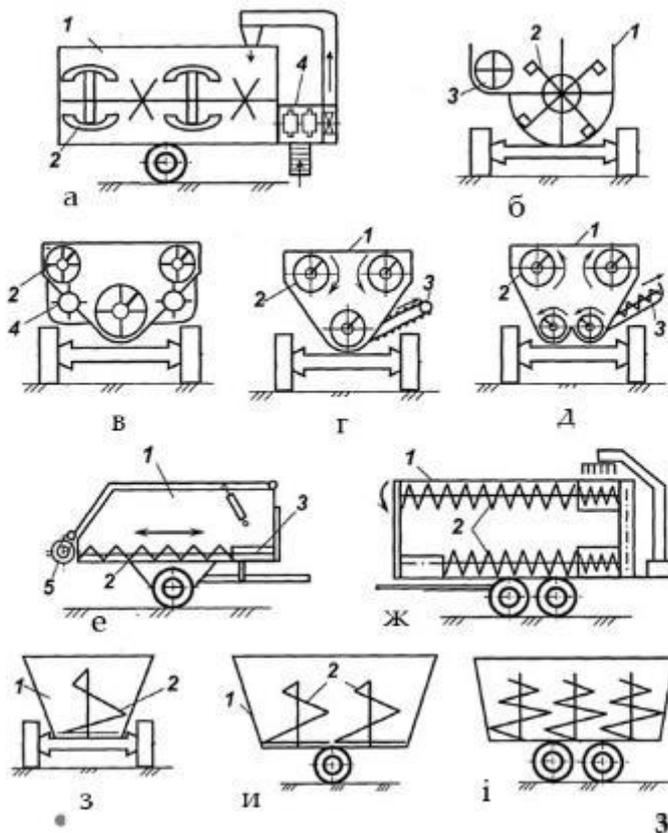


Рисунок 1 – Конструктивно-технологічні схеми бункерних змішувачів-роздавачів кормів: а – лопатевий змішувач-роздавач фірми «Dawis Sons» (США); б – барабанний змішувач-роздавач фірми «Keenan» (Велика Британія); в, г, д – горизонтальні трьох- та чотиришнекові змішувачі-роздавачі; е, ж – самозавантажувальні змішувачі-роздавачі; з, і, к – вертикальні одно-, дво- та трьохшнекові змішувачі-роздавачі. 1 – бункер; 2 – змішувальні робочі органи; 3 – вивантажувальний транспортер; 4 – подрібнювач; 5 – фрезерний барабан

### Аналіз стану питання

Таблиця 1 – Технічні характеристики бункерних змішувачів-роздавачів

Показники	Модель									
	Eco (Biga)	W 10 (AGN)	Klassik II (Keenan)	MT-16 (Tatoma)	Twin (Biga)	Samurai 500/120 (Seco)	Mammoet (Biga)	Super Unified 12 (Marmix)	Stamix 9 (v. Lengerich)	RMH 420 (Logifeeder)
Схема конструкції	одновальна		двовальна		трьохвальна		чотирьохвальна			
Маса, кг	3260	3100	4500	3500	5250	3000	13000	4200	2300	4480
Місткість, м <sup>3</sup>	10	10	14	10	15	12	36	12	9	12
Встановлена потужність, кВт	50	55	60	60	60	60	110	60	45	60
Можливість використання на різних видах кормів										
Подрібнені	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Пресовані	+	+	-	+	+	Рулони до Ø 1,2 м	+	-	-	Рулони до Ø 1,2 м
Розсипні	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## Теоретичні дослідження

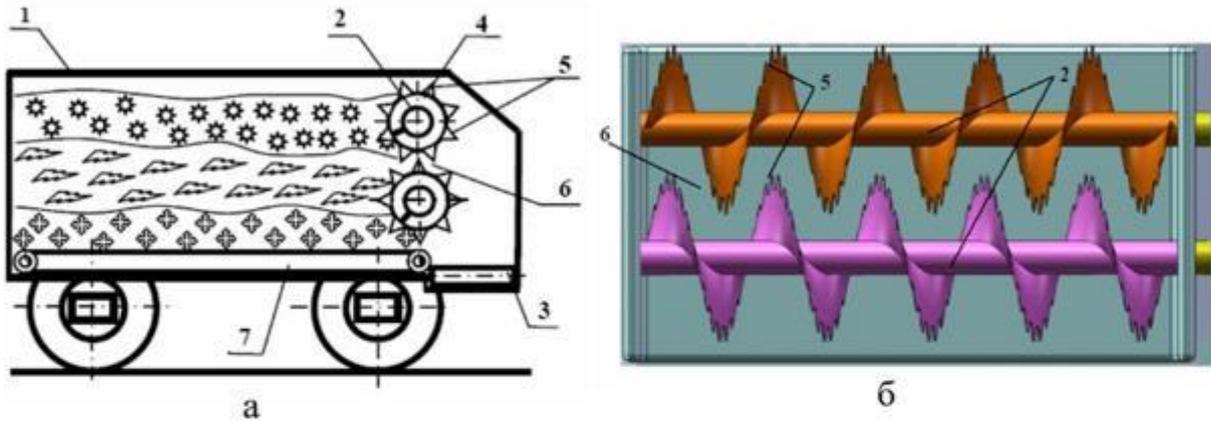


Рисунок 3 – Конструктивно-технологічна схема змішувача-роздавача кормів (а) та шнековий робочий орган (б): 1 - бункер; 2 - подрібнювальний шнековий апарат; 3 – вивантажувальний транспортер; 4 - гвинтові поверхні; 5 - ножі; 6 - міжвитковий простір; 7 - поздовжній транспортер

5

## Теоретичні дослідження

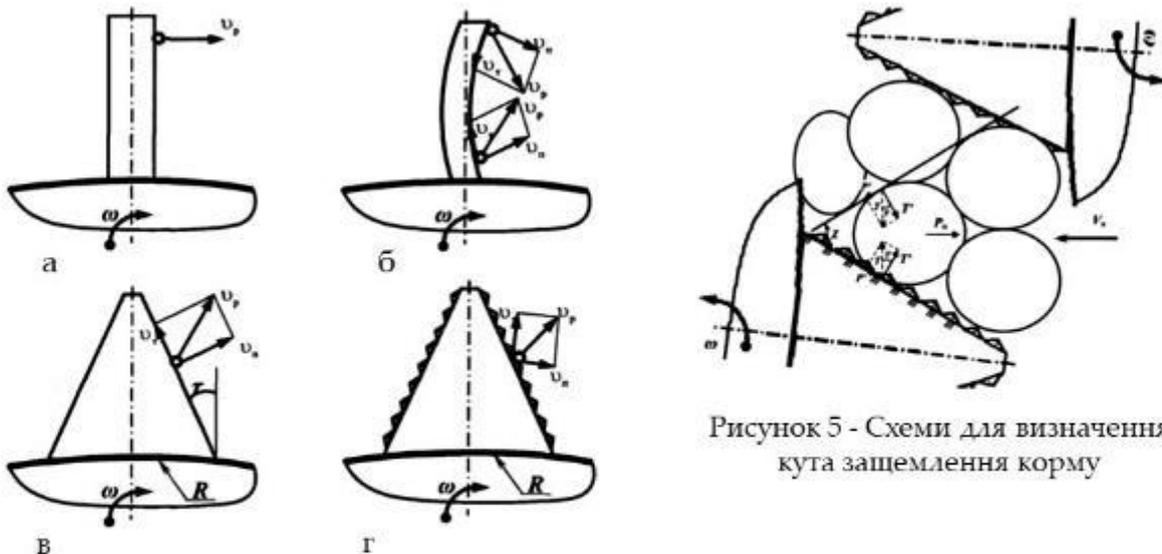


Рисунок 4 - Технологічні схеми до обґрунтування форми ножа: а – нормальне різання; б – ковзне зустрічне різання; в – ковзне відцентрове різання; г - ковзне відцентрове різання з додатковими ножами

Рисунок 5 - Схеми для визначення кута защемлення корму

Кут защемлення між ножем і опорною поверхнею

$$\chi \leq 2 \left( \varphi - 90^\circ + \arccos \frac{P_e}{2T} \right)$$

$P_e$  – відцентрова сила, що діє на корм, Н;  
 $\varphi$  – кут зовнішнього тертя, град;  
 $T$  – реакція опорної поверхні, Н.

6

## Теоретичні дослідження

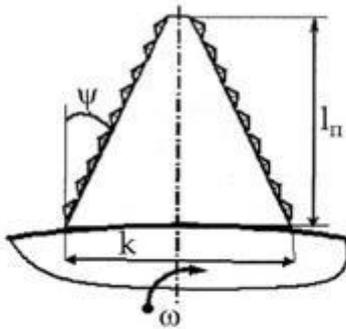


Рисунок 6 - Схема до визначення висоти ножового сегмента

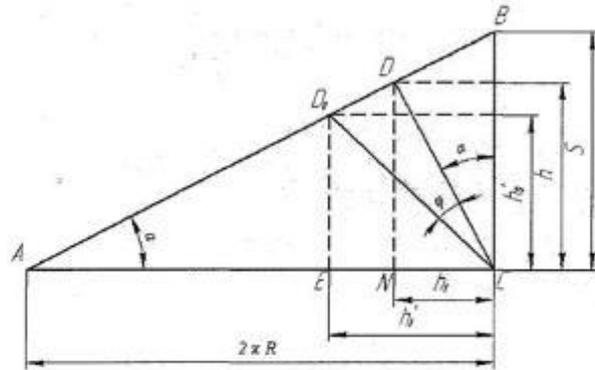


Рисунок 7 - Схема переміщення частинки матеріалу по розгортці гвинтової лінії

Висота ножового сегмента

$$l_n = \frac{2 \cdot k}{3 \cdot \cos \psi}$$

$\psi$  – кут кромки ножа, град;  
 $k'$  – ширина основи ножа, мм.

Колова швидкість зовнішньої кромки шнека

$$v = v_{\text{пост}} (\text{ctg } \alpha + \text{tg } \varepsilon)$$

$\alpha$  – кут підйому гвинтової лінії, град;  
 $\varepsilon$  – кут між вектором абсолютної швидкості та віссю обертання шнека

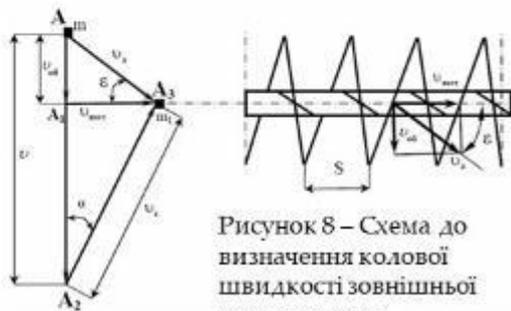


Рисунок 8 – Схема до визначення колової швидкості зовнішньої кромки шнека

7

## Експериментальні дослідження

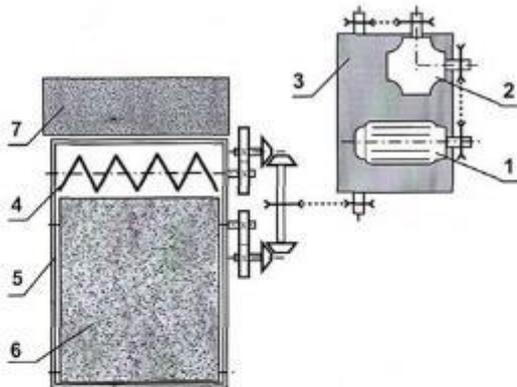


Рисунок 9 – Схема експериментальної установки: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – розподільний блок; 4 – шнековий апарат; 5 – бункер; 6 – подаючий транспортер; 7 – приймальний лоток



Рисунок 10 – Загальний вигляд експериментальної установки

Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Позначення	X1	X2	X3	X4
Центр експерименту	0	20	0,3	11	0,025
Інтервал варіювання	$\Delta$	5	0,1	3	0,020
Верхній рівень	+1	25	0,4	14	0,045
Нижній рівень	-1	15	0,2	8	0,005

$W_c - X_1$  – вологість грубих кормів, %;  $S - X_2$  – крок гвинтової лінії шнека, м;  $Z_1 - X_3$  – кількість ножових сегментів на одному витку шнека, шт;  $v_n - X_4$  – лінійна швидкість подаючого транспортера, м/с.

8

## Експериментальні дослідження

Рівняння регресії залежності критеріїв оптимізації:

для показника неоднорідності суміші  $\delta$

$$\delta = 8825,429 - 9,99114 Wc + 163,358 S + 10,8383 Z1 + 9,9232 v_n - 440,854 Wc S - 0,2492 Wc v_n - 57,2 S Z1 - 2070,4684 S v_n - 7,37567 Z1 v_n + 1,6793 Wc^2 - 400,868 S^2 - 1,16967 Z1^2 - 1,372 v_n^2.$$

для однорідності granulометричного складу  $\lambda$

$$\lambda = 357,201 + 23,7612 Wc - 425,984 S + 10,164 Z1 - 37,31 v_n + 18,512 Wc S - 39,16 Wc Z1 - 62,88562 Wc v_n - 286,1 S Z1 + 251,382 S v_n - 9,65765 Z1 v_n - 4,0872 Wc^2 + 1047,8 S^2 - 1,02487 Z1^2 + 5,0901 v_n^2.$$

для питомої потужності  $N_z$

$$N_z = 1777,107 + 4,07086 Wc - 41,8262 S + 0,3773 Z1 - 1,95678 v_n - 78,676 Wc S - 1,52635 Wc v_n + 32,604 S Z1 + 94,64 S v_n - 0,76692 Z1 v_n - 0,6865 Wc^2 + 101,4 S^2 - 0,040293 Z1^2 + 0,26786 v_n^2.$$

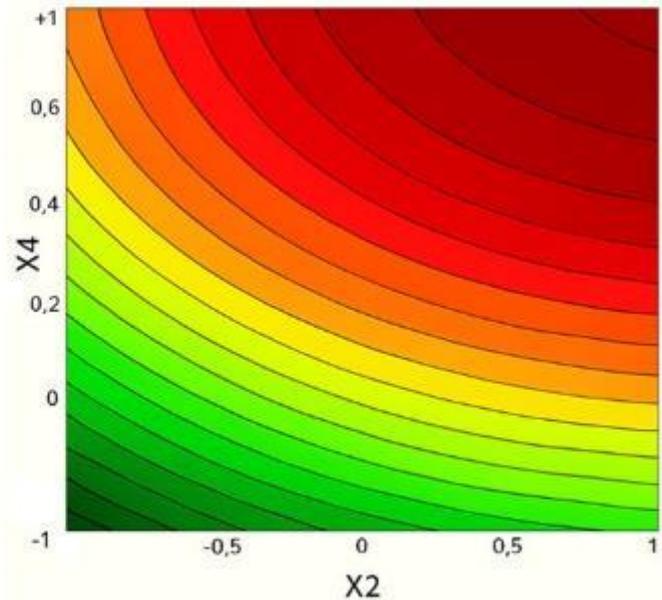


Рисунок 11 – Переріз поверхні неоднорідності суміші на площину  $X_2(S)X_3(v_n)$  при  $X_1 = -1$  ( $Wc = 15\%$ ) та  $X_4 = 0$  ( $Z_1 = 11$  шт.)

9

## Експериментальні дослідження

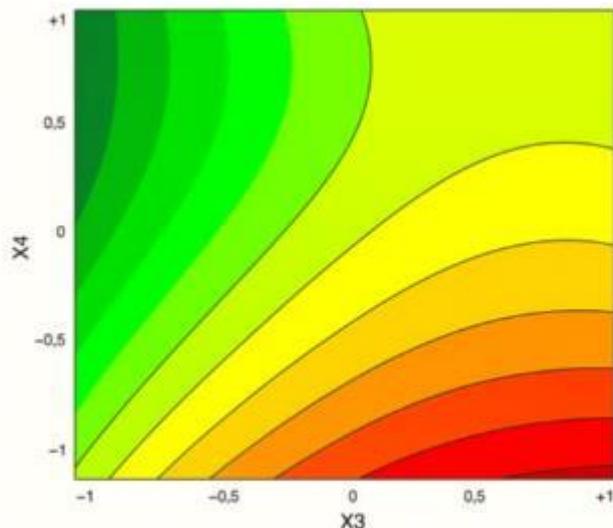


Рисунок 12 – Переріз поверхні однорідності granulометричного складу на площину  $X_3(Z_1)X_4(v_n)$  при  $X_1 = -1$  ( $Wc = 15\%$ ) та  $X_2 = 0$  ( $S = 0,3$  м)

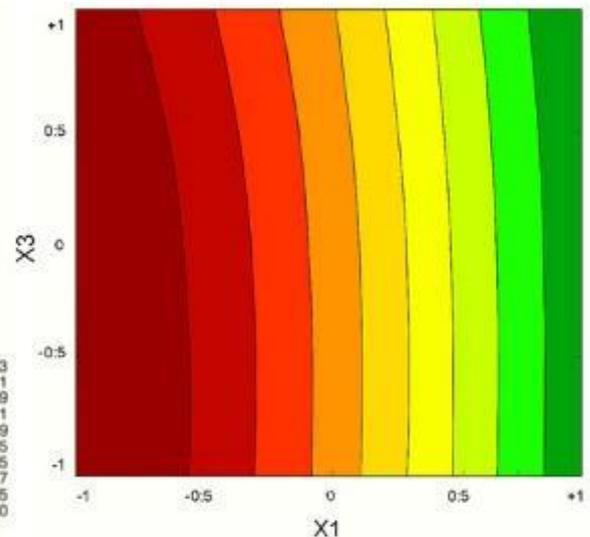


Рисунок 13 – Переріз поверхні однорідності granulометричного складу на площину  $X_1(Wc)X_3(Z_1)$  при  $X_2 = -1$  ( $S = 0,2$  м) та  $X_4 = 0$  ( $v_n = 0,025$  м/с)

10

## Експериментальні дослідження

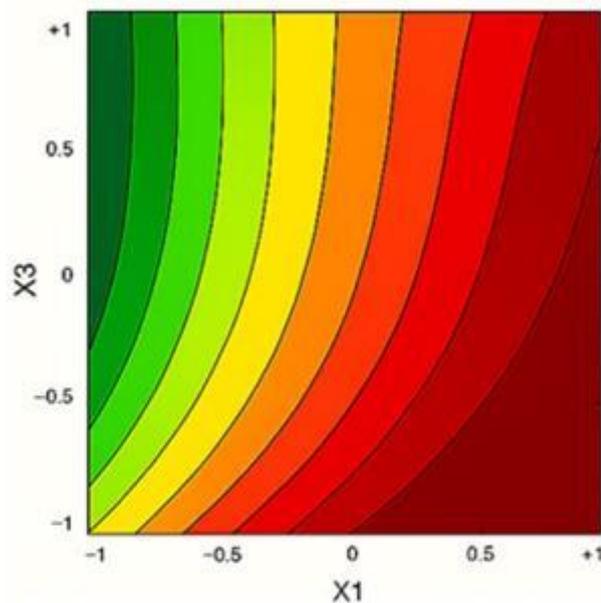


Рисунок 14 – Переріз поверхні питомої потужності на площину  $X_1(W_c)X_3(Z_1)$  при  $X_2 = -1$  ( $S = 0,2$  м) та  $X_4 = 0$  ( $v_a = 0,025$  м/с)

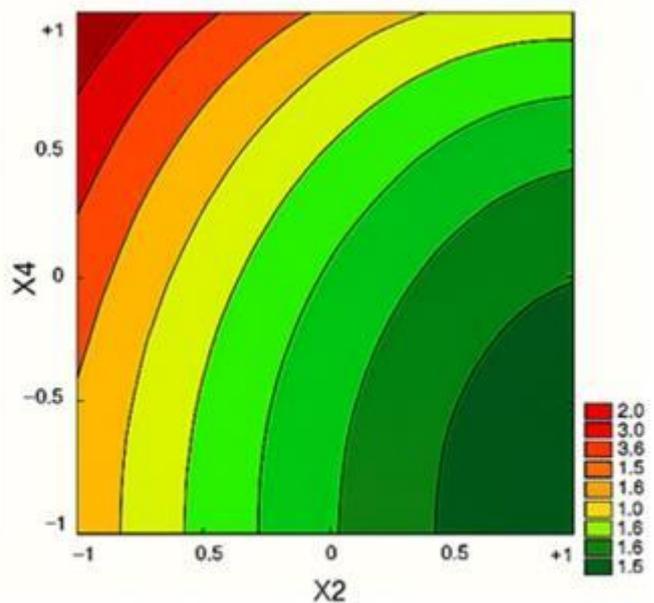


Рисунок 15 – Переріз поверхні питомої потужності на площину  $X_2(S)X_4(v_a)$  при  $X_1 = -1$  ( $W_c = 15$  %) та  $X_3 = 0$  ( $Z_1 = 11$  шт.)

11

## Охорона праці

Карта контролю показників безпеки кормороздавача

№	Показник безпеки	Нормативна/цільова вимога	Метод контролю	Періодичність	Відповідальний
1	Огородження рухомих частин (шпекти, транспортери, ланцюгові передачі, кардан ВОМ)	Усі небезпечні зони закриті стаціонарними/знімними кожухами, відсутній доступ під час роботи	Візуальний огляд, перевірка фіксації кожухів	Перед кожним видом/змінною	Механізатор, інженер з ОП
2	Стан приводу від ВОМ трактора (карданний вал, зчепний кожух)	Цілісний, замкнений кожух, відсутній люфт, немає деформацій і тріщин	Візуальний огляд, прокручування вручну (при заглушеному двигуні)	Перед кожним змінною	Механізатор
3	Робота аварійної зупинки (кнопки/троси STOP)	Наявність і працездатність аварійних вимикачів, можливість швидкої зупинки робочих органів	Пробний запуск/зупинка без навантаження	Щодня, після ремонту	Механізатор, електрик
4	Електробезпека (для електроприводу)	Опір ізоляції не нижче норм, справність заземлення, цілісність кабелів і штекерів	Вимір опору ізоляції, перевірка контуру заземлення, візуальний огляд	1 раз на рік, огляд - щодня	Електрик, інженер з ОП
5	Рівень шуму на робочому місці оператора	Не перевищує допустимих значень (орієнтовно $\leq 80$ дБА)	Вимрювання шумометром	1 раз на рік, після модернізації	Інженер з ОП
6	Вібрація на органах керування	Вібрація в межах допустимих норм, відсутній резонансний режим	Інструментальні вимірювання (за можливості), суб'єктивна оцінка	1 раз на рік, при повній сторонній шумів	Інженер з ОП, механік
7	Гальма, кермування, зчепний пристрій з трактором	Справність гальм, надійне зчеплення, відсутність люфтів і тріщин, встановлені обмежувальні ланцюги	Візуальний огляд, пробне гальмування на малій швидкості	Щодня (огляд), щокварталу (детальний огляд)	Механізатор, механік
8	Стан підсистеми (якщо є підпривід, підшипники)	Відсутність програвів, надійне кріплення рукавів, відповідність робочого тиску	Візуальний огляд, перевірка роботи в усіх положеннях	Щодня	Механізатор
9	Маркування, попереджувальні знаки та інструкції	Наявні та читабельні таблички безпеки, схеми, наклейки «Увага», «Не торкатися» тощо	Візуальний огляд	Раз на півроку	Інженер з ОП
10	Освітлення робочої зони та оглядовість	Достатня оглядовість, справні фарні/світильники при роботі в темний час	Перевірка освітленості, візуальний огляд	Щодня, особливо вранку	Механізатор
11	Пожежна безпека (паливо, мастила, вогнетривкі)	Відсутнє підтікання палива і мастила, наявний сертифікований вогнетривкий з чинним терміном придатності	Візуальний огляд, перевірка тиску/площини вогнетривкості	Щодня (огляд), раз на рік (перезарядка)	Механізатор, відповідальний за ПБ
12	Доступ до робочих органів (площини, сходники, поручні)	Надійні сходники й поручні, неслизьма поверхня, відсутні пошкодження	Візуальний огляд, пробне навантаження	Раз на місяць	Механік, інженер з ОП
13	Засоби індивідуального захисту оператора	Наявні й застосовуються спеціальні рукавички, ЗІЗ слуху, за потреби - респіратор	Перевірка забезпеченості та фактичного використання	Раз на квартал (забезпечення), щодня (факт)	Керівник підрозділу, інженер з ОП
14	Проведення інструктажів з охорони праці	Наявні записи про первинний, повторний, позаплановий інструктаж	Перевірка журналів інструктажів	За графіком (не рідше 1 разу на 6 міс)	Інженер з ОП, керівник підрозділу

12

## Показники економічної ефективності

Показник	Поз.	Базовий варіант	Проектний варіант
Потужність на привід	кВт	22,0	12,8
Час роботи на добу	год	2,2	3,0
Обслуговуючий персонал	чол.	1	1
Вартість машини	грн	258 600	144 800
у т.ч. переобладнання	грн	–	22 800
Річні експлуатаційні витрати, всього	грн	296 943,2	263 294,4
у т. ч. заробітна плата з нарахуваннями	грн	67 636,8	92 232,0
амортизаційні відрахування	грн	25 860,0	14 480,0
витрати на ремонт і ТО	грн	20 688,0	11 584,0
витрати на паливо	грн	182 758,4	144 998,4
Економія експлуатаційних витрат	грн	–	33 648,8
Строк окупності додаткових вкладень	роки	–	0,68

## Загальні висновки

1. У першому розділі на основі аналізу існуючих поточно-технологічних ліній приготування та роздавання кормів встановлено, що більшість застосовуваних машин забезпечують прийнятну якість змішування, але є енергонеетомними, вимогливими до попереднього подрібнення і малопридатними для малих ферм ВРХ. Обґрунтовано доцільність використання мобільних роздавачів-змішувачів, які поєднують операції подрібнення, змішування та роздавання безпосередньо в момент видачі корму в годівниці, що дає змогу знизити енергоємність процесу й трудові витрати.

2. У другому розділі розроблено конструктивно-технологічну схему шнекового роздавача-змішувача та теоретично обґрунтовано основні параметри його робочого органа. Визначено умови заземлення і різання довгостеблових кормів ножовими сегментами, вплив кроку навівки, геометрії шнека та кутів тертя на рух частинок і формування потоку, побудовано математичні моделі процесу одночасного подрібнення та змішування, які використано для вибору раціональних конструктивно-режимних параметрів.

3. У третьому розділі на експериментальній установці досліджено вплив вологості грубих кормів, кроку витка шнека, кількості сегментів на витку та швидкості подаючого транспортера на неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу й питомі витрати потужності. За результатами багатофакторного експерименту отримано регресійні моделі, встановлено області раціональних параметрів ( $W_c \approx 17\text{--}20\%$ ,  $S \approx 0,26\text{--}0,30$  м,  $Z_1 \approx 10\text{--}12$ ,  $v_c \approx 0,013\text{--}0,019$  м/с), за яких забезпечуються зоотехнічні вимоги до якості суміші при помірних енерговитратах.

4. У четвертому розділі показано, що запропонована конструкція за умови оснащення захисними огороженнями, блокуваннями, справною електроапаратурою та виконання вимог розробленої інструкції з охорони праці забезпечує прийнятний рівень безпеки для оператора. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів засвідчив, що горизонтальне розташування шнекових органів у закритому бункері й раціональна організація робочого місця зменшують ризик травмування, вплив шуму, пилу й важкої ручної праці.

5. У п'ятому розділі доведено економічну доцільність впровадження удосконаленого роздавача-змішувача: у порівнянні з базовим варіантом отримано зниження річних експлуатаційних витрат приблизно на 33,6 тис. грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень становить менше одного року. Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що поставлена мета – підвищення ефективності процесу приготування та роздавання кормових сумішей на малих фермах ВРХ шляхом удосконалення конструкції роздавача-змішувача, обґрунтування його параметрів, оцінки безпеки й економічної ефективності – досягнута, а запропоноване технічне рішення є технологічно, енергетично та економічно виправданим.