

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

**Модернізація технологічного процесу приготування кормів
на молочно-товарній фермі**

Виконав: здобувач вищої освіти 5 курсу, групи АІз-1-21
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Морозов Дмитро Олександрович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем.
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«01» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Морозов Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Модернізація технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«01» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: молочно-товарна ферма на 200 дійних корів зі шлейфом; корови утримуються в одному приміщенні, шлейф – в іншому; раціони годівлі формуються за технологічними групами і включають сіно, сінаж, силос та комбікорми; технологічна лінія приготування кормосуміші з використанням стаціонарного змішувача кормів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Модернізація технологічного процесу приготування кормів. 3. Удосконалення стаціонарного змішувача кормів для ВРХ. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу приготування кормів. 2. Конструктивна схема горизонтального роздавача-змішувача кормів. 3. Стационарний горизонтальний змішувач кормів. 4. Удосконалений шнек змішувача. 5. Корпус. 6. Гвинт. 7. Гайка. 8. Охорона праці. 9. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 01.05.2026 р. .

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач

(підпис)

Морозов Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Затв.	Дудін			проект	ЛДАЕУ ДІ-1-
-------	-------	--	--	--------	-------------

Морозов Д.О. Модернізація технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломній роботі розглянуто питання модернізації технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі. Обґрунтовано актуальність удосконалення кормоприготувальної лінії для ферми на 200 дійних корів зі шлейфом, де до складу раціонів входять сіно, сінаж, силос і комбікорми.

Проведено аналіз сучасних технологій годівлі ВРХ, автоматизованих систем приготування та роздавання кормів, а також конструкцій стаціонарних змішувачів. Розроблено технологічну схему процесу приготування кормосуміші з використанням стаціонарного змішувача, завантажувача стеблових кормів, бункерів для комбікормів і засобів транспортування готової суміші.

Виконано розрахунок місткості сховищ для основних видів кормів та визначено технічні й технологічні параметри процесу. Запропоновано удосконалення стаціонарного горизонтального змішувача кормів шляхом зміни конструкції шнека, що забезпечує інтенсивніше переміщення кормових компонентів до зони розвантаження, покращує рівномірність змішування та зменшує залишки корму в робочій камері. Розглянуто питання охорони праці та проведено техніко-економічну оцінку запропонованого рішення.

Ключові слова: молочно-товарна ферма, ВРХ, приготування кормів, кормосуміш, стаціонарний змішувач, горизонтальний шнек, модернізація, охорона праці, економічна оцінка.

Зміст

ВСТУП.....	8
1 Аналіз стану питання	10
1.1 Огляд технологій годівлі ВРХ	10
1.2 Огляд автоматизованих систем годівлі ВРХ.....	12
1.3 Аналіз конструкцій змішувачів кормів, які використовуються в автоматизованих системах годівлі	19
1.4 Висновки до розділу	22
2 Модернізація технологічного процесу приготування кормів	24
2.1 Обґрунтування важливості питання	24
2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги	25
2.3 Розробка технологічної схеми процесу	26
2.4 Розрахунок місткості сховищ для кормів.....	28
2.5 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу	30
2.6 Висновки до розділу	33
3 Удосконалення стаціонарного змішувача кормів для ВРХ	35
3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення	35
3.2 Вихідні дані.....	36
3.3 Розробка варіанту удосконалення	38
3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів	40
3.5 Висновки до розділу	49

4 Охорона праці.....	51
4.1 Загальні вимоги охорони праці при приготуванні кормів для ВРХ .	51
4.2 Вимоги охорони праці при роботі зі змішувачем	53
4.3 Висновки до розділу	57
5 Техніко-економічна оцінка	58
5.1 Вихідні дані.....	58
5.2 Результати розрахунків економічних показників	60
5.3 Висновки до розділу	62
Загальні висновки.....	63
Бібліографія	65
Додатки	68

ВСТУП

Ефективність виробництва молока значною мірою залежить від організації годівлі великої рогатої худоби. Повноцінне забезпечення тварин поживними речовинами, дотримання структури раціону та рівномірне змішування кормових компонентів безпосередньо впливають на продуктивність корів, стан їх здоров'я, витрати кормів і собівартість молочної продукції.

На сучасних молочно-товарних фермах особливого значення набуває використання механізованих та автоматизованих технологічних ліній приготування кормів. Такі системи дозволяють поєднати операції дозування, подрібнення, змішування і транспортування кормів у єдиний технологічний процес. Це забезпечує стабільну якість кормосуміші, зменшує частку ручної праці, скорочує тривалість виконання операцій і підвищує точність приготування раціонів для різних технологічних груп тварин.

В умовах ферми на 200 дійних корів зі шлейфом до складу раціону входять сіно, сінаж, силос і комбікорми. Використання різнорідних за фізико-механічними властивостями компонентів потребує застосування надійного змішувального обладнання, здатного забезпечити рівномірний розподіл кормів у загальній масі суміші. Одним із перспективних напрямів удосконалення такого процесу є модернізація стаціонарного змішувача кормів, зокрема зміна конструкції його робочого органа — шнека.

Актуальність теми дипломної роботи полягає у необхідності підвищення ефективності технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі шляхом удосконалення стаціонарного змішувача, що забезпечує покращення якості змішування, зменшення залишків корму в робочій камері та підвищення продуктивності лінії годівлі.

Метою дипломної роботи є модернізація технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі з розробкою удосконалення стаціонарного змішувача кормів для ВРХ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасні технології приготування та роздавання кормів для ВРХ; розглянути конструкції автоматизованих систем годівлі та стаціонарних змішувачів; обґрунтувати технологічну схему приготування кормосуміші; визначити потребу в кормах і місткість сховищ; запропонувати конструктивне удосконалення шнека змішувача; виконати розрахунок основних конструкційно-технологічних параметрів; розглянути питання охорони праці; провести техніко-економічну оцінку запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес приготування кормів на молочно-товарній фермі.

Предметом дослідження є конструкційно-технологічні параметри стаціонарного змішувача кормів та його робочого органа.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованого удосконалення для підвищення якості приготування кормосуміші, зниження трудових та експлуатаційних витрат і забезпечення стабільної годівлі тварин за технологічними групами.

1 Аналіз стану питання

1.1 Огляд технологій годівлі ВРХ

Годівля великої рогатої худоби є одним із ключових технологічних процесів молочно-товарної ферми, оскільки вона безпосередньо впливає на продуктивність корів, стабільність обміну речовин, стан здоров'я та собівартість молока. У сучасному молочному скотарстві переважає технологія згодовування повнораціонних кормосумішей, за якої грубі, соковиті, концентровані та мінеральні компоненти дозуються, подрібнюються, змішуються і надходять до тварин у вигляді однорідної суміші. Такий підхід зменшує вибіркове поїдання окремих компонентів раціону, стабілізує споживання сухої речовини та створює передумови для точнішого керування годівлею.

Технологічний процес приготування кормів на молочно-товарній фермі не можна розглядати окремо від процесу їх роздавання. Після подрібнення і змішування кормова суміш повинна бути своєчасно доставлена до кормового столу, рівномірно розподілена вздовж фронту годівлі та періодично підгорнута до тварин. Якщо між приготуванням і роздаванням виникає затримка, погіршується однорідність суміші, зростає ймовірність розшарування за щільністю та розміром частинок, підвищуються втрати і знижується точність видачі раціону. Тому на практиці ефективність кормоцеху визначається не тільки продуктивністю змішувача, а й узгодженістю роботи всіх машин ланцюга «компоненти – дозування – змішування – транспортування – кормовий стіл».

За способом організації процесу на молочно-товарних фермах використовують три основні групи технологій: мобільні кормороздавачі-змішувачі, стаціонарні лінії приготування з механізованою або автоматизованою роздачею, а також роботизовані системи годівлі. Мобільні змішувачі з тракторним приводом залишаються поширеними завдяки універсальності, можливості працювати з різними видами кормів і простоті впровадження. Проте їх робота залежить від оператора, трактора, погодних умов і графіка зміни; крім

того, у приміщенні можливі шум, викиди відпрацьованих газів та нерівномірність частоти підвезення свіжого корму.

Стаціонарні лінії приготування кормів будуються навколо кормокухні, у якій компоненти зберігаються у бункерах, силосах або на буферних столах, дозуються за рецептом і подаються у стаціонарний змішувач. Після змішування готова суміш надходить у роздавальний візок, стрічковий транспортер або роботизований кормороздавач. Така схема дає змогу винести енергоємне змішування з кормового проходу, застосувати електропривід, автоматичне зважування, програмування рецептів і групову годівлю різних технологічних груп тварин.

Роботизовані системи годівлі є подальшим розвитком стаціонарних технологій. Їх основна ідея полягає в частому приготуванні малих партій корму і багаторазовій видачі свіжої суміші протягом доби. Для молочної ферми це важливо тому, що тварини отримують доступ до корму не тільки після основної роздачі, а протягом усього дня. Дослідження поведінки дійних корів показують, що частіша доставка корму впливає на активність біля кормового столу і може зменшувати сортування кормосуміші, особливо у періоди пікового споживання після появи свіжого корму [9].

У сучасних системах годівлі дедалі частіше використовується принцип замкненого інформаційного циклу. Оператор або програмне забезпечення формує раціон, система дозує компоненти, змішувач готує партію, роздавач видає її визначеній групі тварин, а дані про фактичне споживання, залишки та продуктивність використовуються для коригування наступних партій. Тому модернізація окремої машини, зокрема стаціонарного змішувача, повинна оцінюватися не ізольовано, а через її вплив на стабільність усього процесу приготування та роздавання кормів.

Прикладом модульного підходу до автоматизації є система DeLaval Optimat. За даними виробника, вона забезпечує автоматизоване змішування і

роздавання корму: корм зважується, подрібнюється та змішується у стаціонарному змішувачі, після чого подається до кормового столу рейковим роздавальним візком DeLaval FS1600 або DeLaval RA135 [1]. У модифікаціях сімейства Optimat автоматизація може нарощуватись поступово: від автоматизованої подачі концентратів і мінеральних добавок до повністю автоматичної роботи з програмуванням рецептів, груп і графіків годівлі [1].

Таким чином, загальна тенденція розвитку технологій годівлі ВРХ полягає у переході від періодичної механізованої операції до безперервно керованого процесу, де підготовка, змішування, доставка, роздавання та контроль залишків взаємопов'язані. Це підвищує вимоги до стаціонарного змішувача як до центральної ланки кормокухні: він повинен забезпечувати швидке завантаження, точне дозування, якісне змішування, надійне вивантаження і можливість багаторазової роботи протягом доби.

1.2 Огляд автоматизованих систем годівлі ВРХ

Автоматизована система годівлі ВРХ складається з декількох функціональних блоків: зони зберігання компонентів, дозувальних пристроїв, змішувача, засобу транспортування та роздавання, системи підгортання корму, датчиків контролю і програмного забезпечення. У різних виробників ці блоки компонуються по-різному, однак їх призначення однакове: забезпечити тварин свіжою, однорідною та точно дозованою кормосумішшю відповідно до продуктивної групи, стадії лактації або технологічного завдання ферми.

Система DeLaval Optimat є типовим прикладом стаціонарно-роботизованої організації годівлі. Основними елементами є силоси або буферні столи для компонентів, стаціонарний змішувач з ваговою системою, транспортні пристрої для завантаження та вивантаження, роздавальний візок або робот і програмний модуль керування. Виробник підкреслює, що система дає змогу вибирати потрібний рівень автоматизації або будувати його поступово: від автоматизації

окремих операцій до повністю автоматизованого приготування і роздавання кормів [1].

У повністю автоматичній конфігурації DeLaval Optimat Master оператор задає рецепти, групи та графік годівлі, а система автоматично керує завантаженням компонентів, змішуванням і доставкою готової кормосуміші до відповідної групи тварин. Вагова система стаціонарного змішувача може керувати приготуванням багатьох партій протягом дня, що особливо важливо для ферм із кількома продуктивними групами [1]. У 2023 р. DeLaval також представила роздавальний робот OptiWagon як модуль системи Optimat; він призначений для доставки різних сумішей різним групам до 12 разів на добу, а рецепти та маршрути налаштовуються через DeLaval DelPro [2].

Деталізована компоновочна схема системи DeLaval Optimat™ Plus наведена на рис. 1.2. Позиційними виносками на схемі показано шлях компонентів від силосів до роздавального вагона.

Аналогічний напрям реалізовано у системі Lely Vector. Вона складається з двох базових частин: кормокухні, у якій корм зберігається, вибирається та завантажується, і змішувально-роздавального робота. За даними Lely, система забезпечує доступ кожної групи тварин до свіжого та точно змішаного раціону, а робот одночасно змішує, роздає і підгортає корм уздовж кормового столу [4]. Кормокухня Lely Vector може працювати з різними варіантами завантаження, а програмне забезпечення з кормозахватом забезпечує точність завантаження компонентів до 98 % [4].

Особливістю Lely Vector є те, що змішувач розміщений безпосередньо у мобільному роботі. Робот сканує висоту корму біля кормової решітки, визначає потребу у новому рейсі і виконує роздавання за фактичним станом кормового столу. Така компоновка добре підходить для ферм, де важливо збільшити частоту годівлі без постійної присутності оператора, але вона потребує ретельного планування кормокухні, маршрутів руху та місць заряджання.

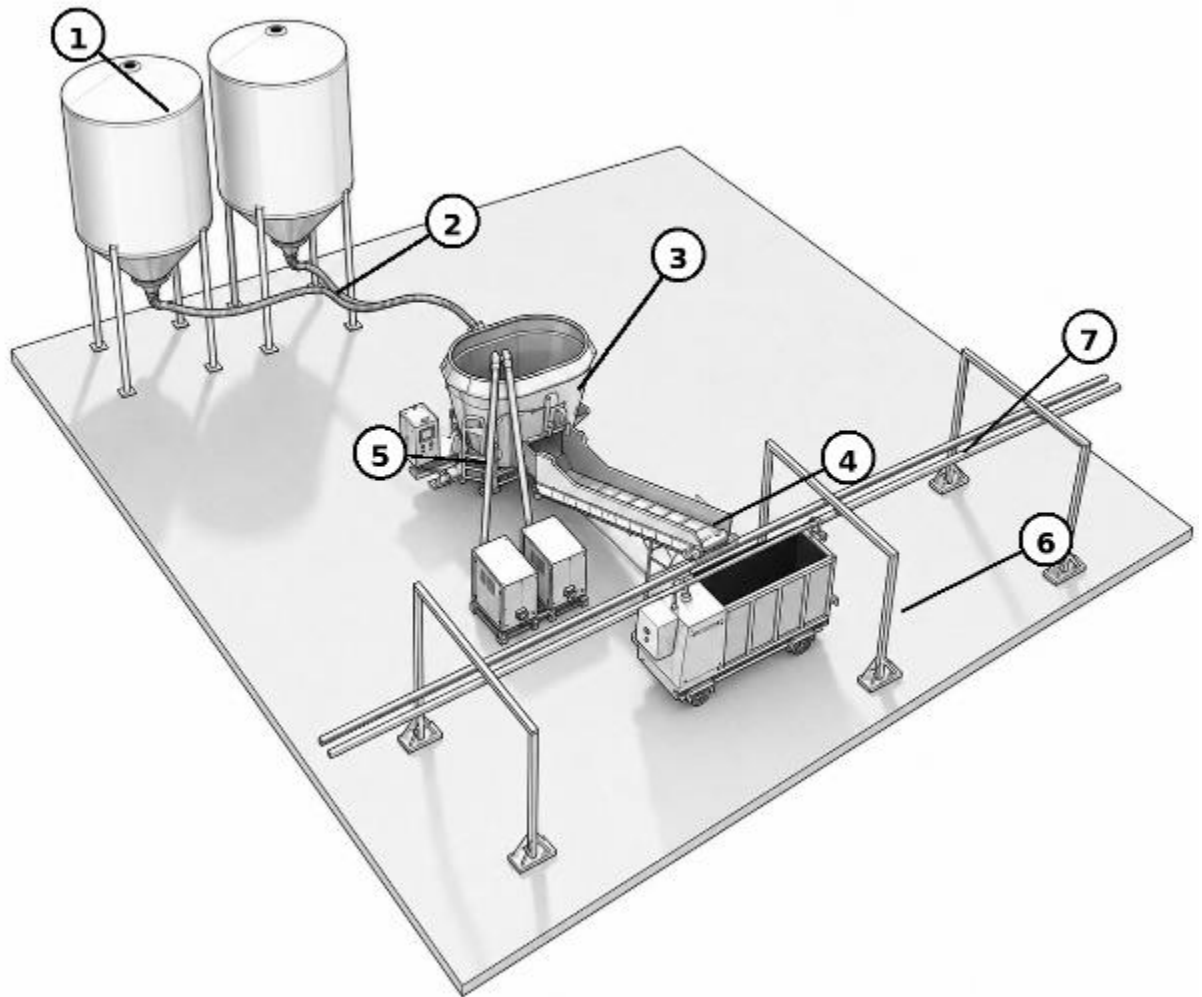


Рисунок 1.2 - Компонувочна схема системи DeLaval Optimat™ Plus з позиційними позначеннями

Позиції: 1 – силоси для зберігання компонентів; 2 – гнучкі транспортні лінії подачі; 3 – стаціонарний змішувач; 4 – завантажувальний транспортер; 5 – шафи керування; 6 – рейковий роздавальний вагон; 7 – напрямні рейкового шляху.

Загальну будову системи Lely Vector показано на рис. 1.4. Особливість цієї компоновки полягає у поєднанні функцій змішування та роздавання в автономному роботі.

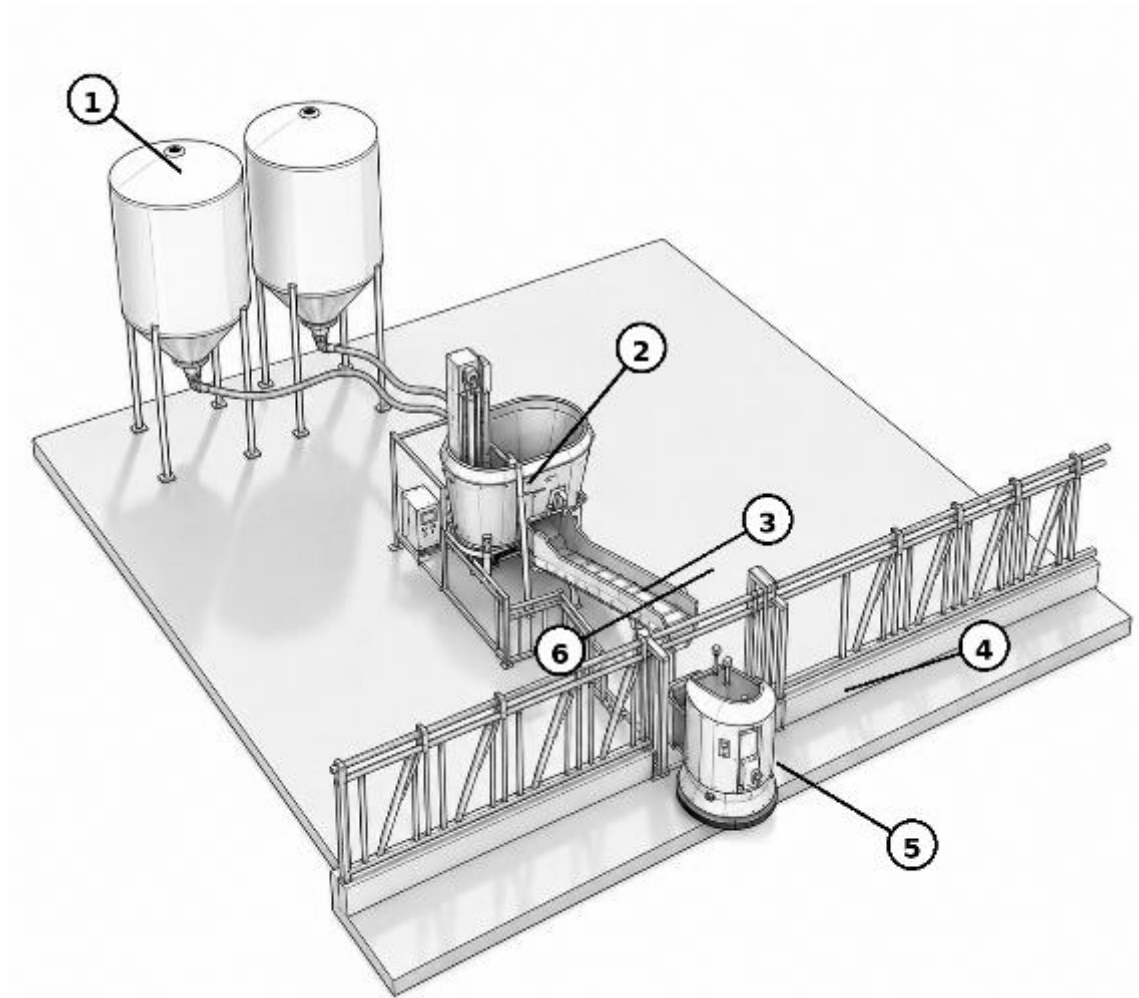


Рисунок 1.3 - Компонувочна схема системи Lely Vector з позиційними позначеннями

Позиції: 1 – силоси для концентрованих компонентів; 2 – завантажувально-змішувальний вузол кормокухні; 3 – транспортер подачі корму; 4 – мобільний змішувально-роздавальний робот; 5 – кормовий проїзд; 6 – зона керування та обслуговування.

GEA DairyFeed F4500 належить до автономних змішувально-роздавальних роботів. Він обладнаний навігаційними датчиками, будує карту ферми, розраховує маршрути та може працювати у приміщеннях без значної перебудови інфраструктури [5]. За даними GEA, робот зважує, змішує і роздає до 2,2 м³ свіжої TMR на годину для стада до 300 тварин у різних групах, а також виконує підгортання корму між циклами [5]. Окремою перевагою є цифрова

синхронізація даних годівлі та доїння через DairyNet, що дає змогу пов'язувати споживання корму з продуктивністю та якістю молока [5].

Компонування автоматизованої системи GEA DairyFeed F4500 наведено на рис. 1.5. У такій системі зберігання та підготовка компонентів поєднуються з автономним роздаванням кормосуміші вздовж кормового проходу.

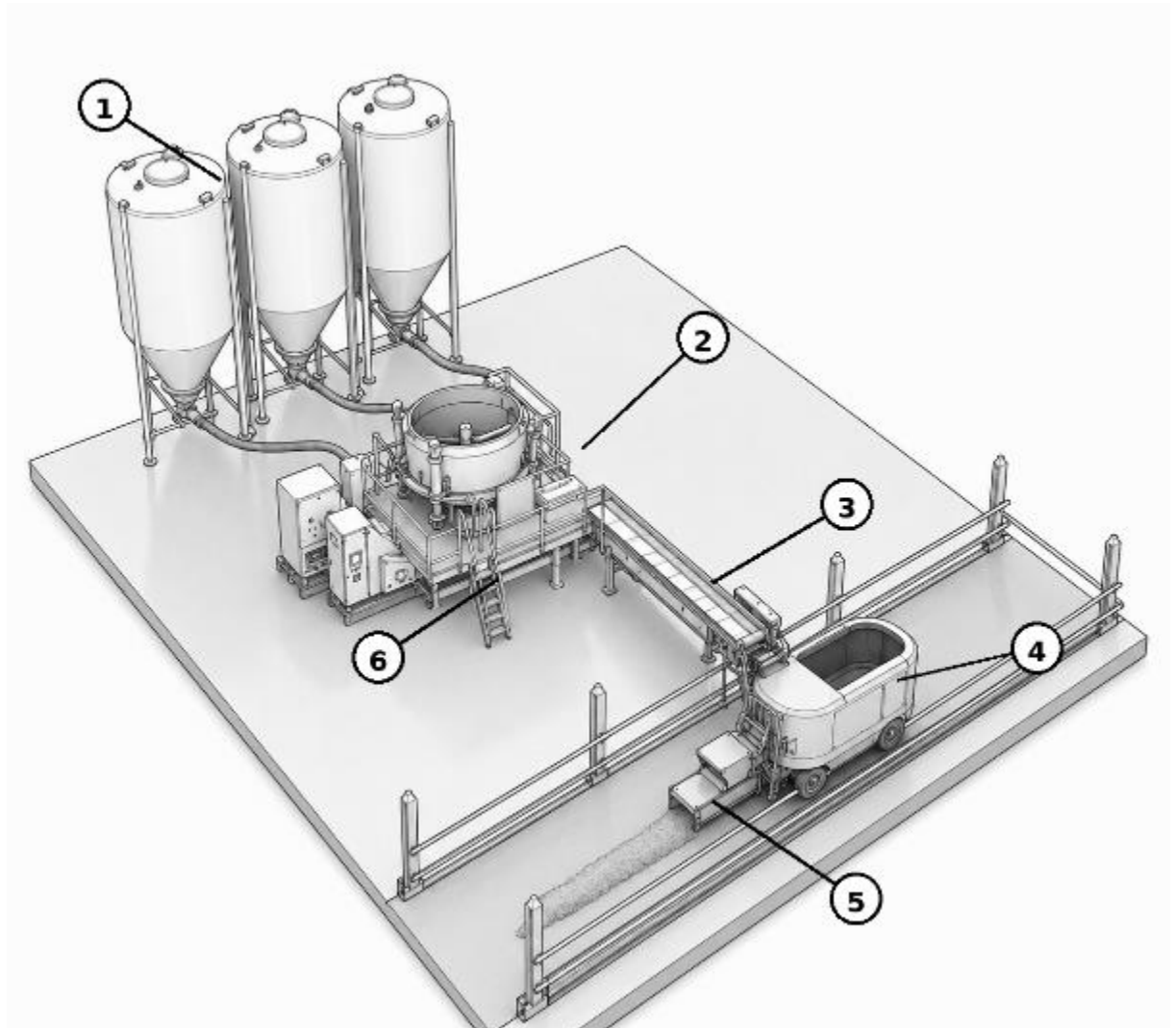


Рисунок 1.4 -Компоновочна схема системи GEA DairyFeed F4500 з позиційними позначеннями

Позиції: 1 – силоси та накопичувачі кормових компонентів; 2 – стаціонарний вузол підготовки та змішування; 3 – передавальний транспортер; 4 – автономний роздавальний робот; 5 – кормовий проїзд із зоною роздавання; 6 – шафи керування.

Система Trioliet Triomatic T20 представляє інший підхід: основою є кормокухня з одним або кількома стаціонарними змішувачами, центральним пультом керування, силосами концентратів та дозаторами добавок. Вона може працювати з різними типами роботів Triomatic — акумуляторними, підвісними або колісними [6]. Стаціонарні змішувачі Triomatic мають об'єм від 7 до 52 м³, можуть мати 1, 2 або 3 шнеки, приводяться електродвигунами і працюють від мережі 400 В [6]. Така схема зручна для ферм, де потрібна централізована кормокухня з високою продуктивністю та можливістю готувати базовий раціон з додаванням окремих компонентів для груп тварин.

Схему системи Trioliet Triomatic, у якій основним вузлом кормокухні є стаціонарний змішувач, подано на рис. 1.5.

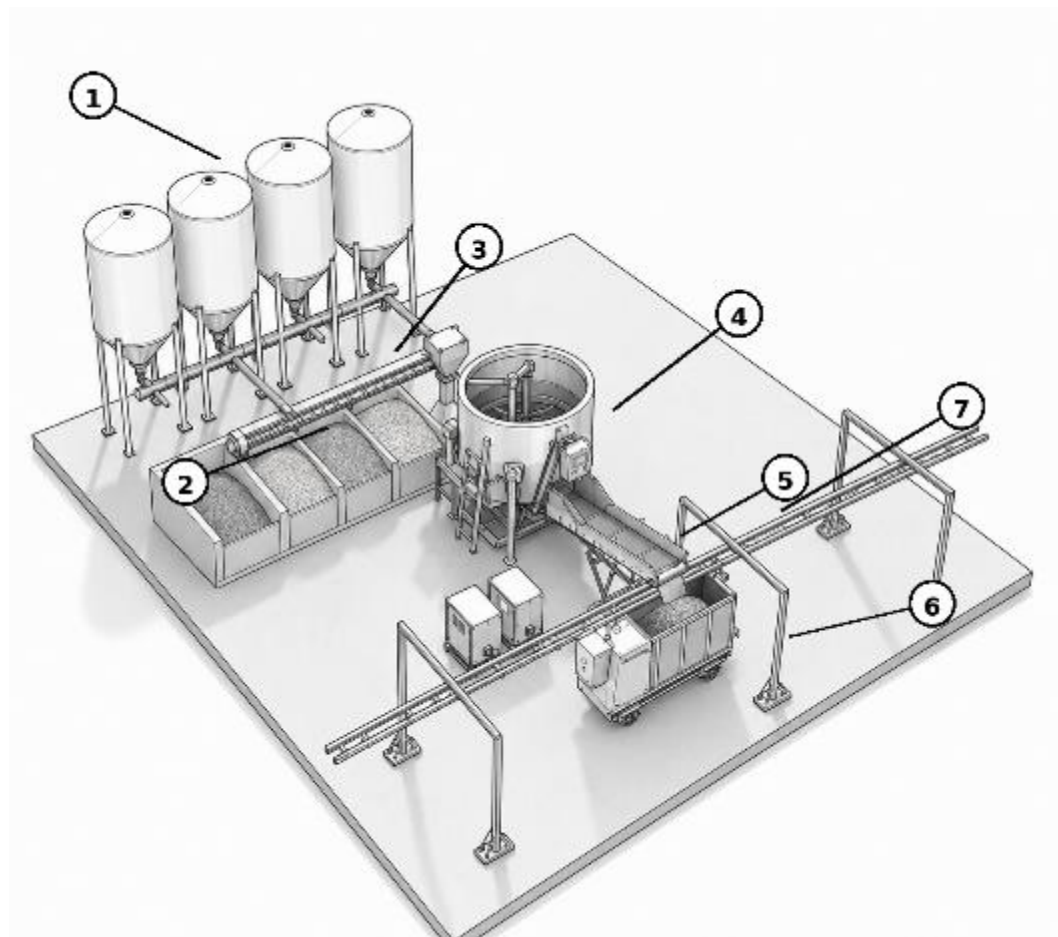


Рисунок 1.5 - Компоновочна схема системи Trioliet Triomatic з позиційними позначеннями

Позиції: 1 – силоси для сипких компонентів; 2 – відсіки кормокухні для грубих і соковитих кормів; 3 – шнековий транспортер подачі; 4 – стаціонарний змішувач; 5 – транспортер видачі готової суміші; 6 – рейковий кормороздавач; 7 – напрямні рейкового шляху.

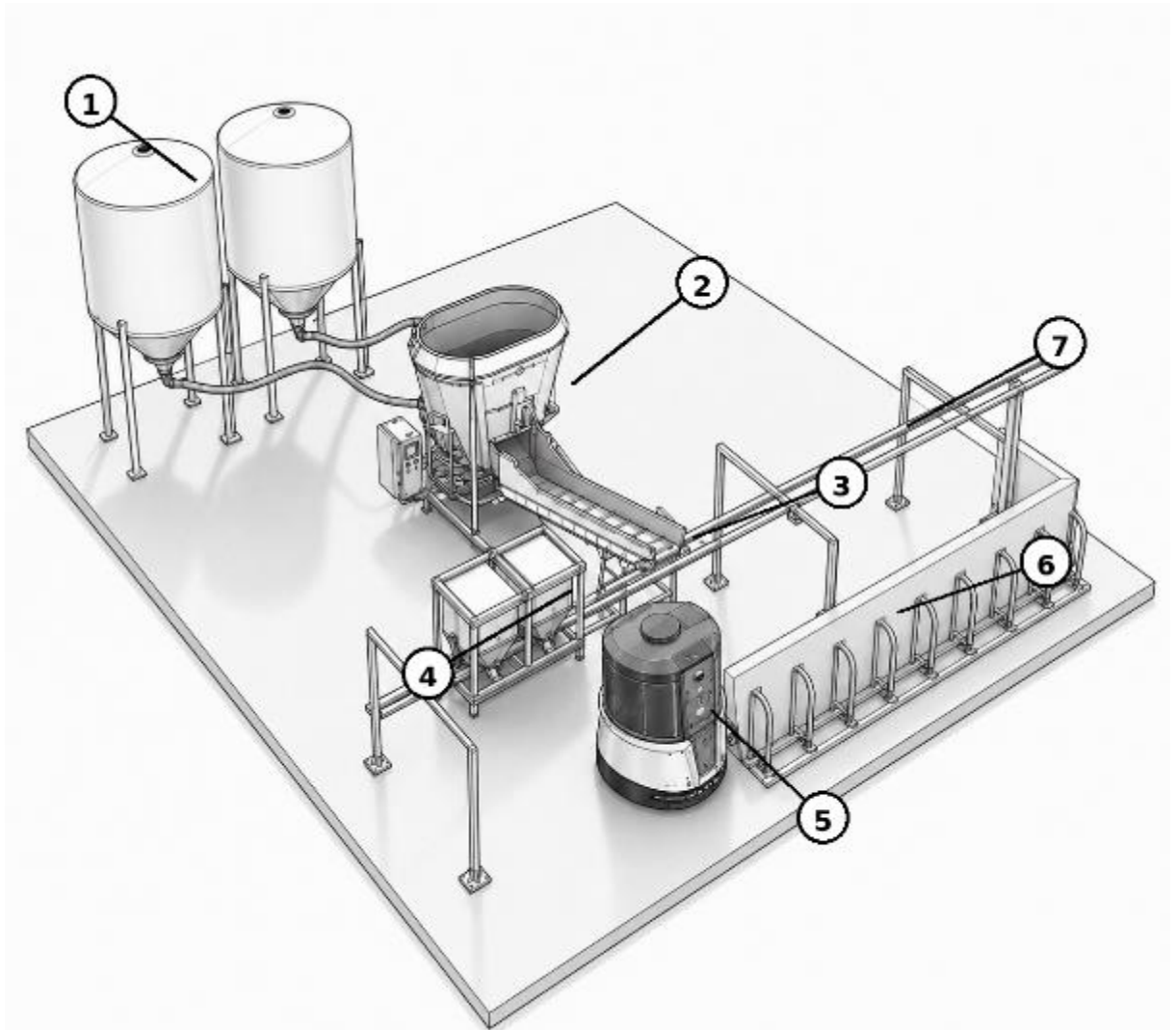


Рисунок 1.6 - Компонувачна схема системи Wasserbauer Shuttle Eco з позиційними позначеннями

Позиції: 1 – силоси компонентів; 2 – приймально-змішувальний бункер; 3 – транспортер подачі готової суміші; 4 – проміжні дозувальні бункери; 5 – автономний робот Shuttle Eco; 6 – кормовий стіл; 7 – напрямні або маршрут руху робота.

Wasserbauer Shuttle Eco — приклад автономного робота з акумуляторним живленням. Він рухається за маршрутами, заданими магнітами у підлозі, має функцію підгортання корму, точне зважування і дозування за пройденою відстанню, а також може використовуватись у кількох приміщеннях [8]. Робот має об'єм 2,2 м³ і, за даними виробника, призначений для молочних ферм до 200 умовних голів або відгодівельних господарств до 600 голів [8]. Для даної теми важливим є те, що навіть у роботизованих рішеннях зберігається вимога до якісного змішування малих партій корму та надійної взаємодії з кормокухнею.

На рис. 1.6 наведено схему системи Wasserbauer Shuttle Eco, де підготовлена кормосуміш передається до автономного шатла, що виконує роздавання і підгортання корму.

Порівняння показує, що автоматизовані системи можуть мати різну компоновку, але у більшості випадків якість роботи визначається саме вузлом дозування і змішування. Якщо суміш неоднорідна, має надмірно подрібнені або, навпаки, довгі частинки, нестабільно вивантажується або готується занадто довго, то переваги автоматичної роздачі зменшуються. Тому під час модернізації технологічного процесу приготування кормів першочергову увагу доцільно приділити стаціонарному змішувачу як машині, що формує кінцеву якість кормосуміші.

1.3 Аналіз конструкцій змішувачів кормів, які використовуються в автоматизованих системах годівлі

Змішувач кормів є центральною машиною технологічного процесу приготування повнораціонної кормосуміші. Його конструкція повинна забезпечувати приймання різнорідних компонентів, їх рівномірний розподіл у робочому об'ємі, часткове подрібнення довговолокнистих кормів, точне вивантаження готової суміші та стабільну роботу за багаторазових циклів протягом доби. Для автоматизованих систем особливо важливими є

повторюваність якості суміші, можливість програмного керування, робота з ваговою системою і надійне вивантаження без залишків у мертвих зонах.

За конструктивною схемою кормозмішувачі поділяють на вертикальні шнекові, горизонтальні шнекові, лопатеві або барабанні, а також комбіновані змішувачі роботизованих роздавачів. Вертикальні шнекові змішувачі добре працюють із тюками, довгими стебловими кормами та об'ємною сировиною. Вони забезпечують активне піднімання і переміщення маси по висоті бункера, але для малих порцій або дуже точного дозованого вивантаження можуть потребувати додаткових пристроїв. Горизонтальні змішувачі зазвичай мають кілька шнеків або лопатевих органів, формують інтенсивне поздовжнє і поперечне перемішування та добре поєднуються з автоматичними лініями завантаження і розвантаження.

У системах DeLaval для автоматизованої годівлі застосовуються стаціонарні горизонтальні змішувачі HSM. У рекламно-технічних матеріалах DeLaval зазначено, що горизонтальний стаціонарний змішувач HSM є «серцем» автоматичної системи годівлі, з'єднується з рейковим роздавальним візком і призначений для інтенсивного використання з частотою годівлі до 15 разів на добу [3]. Моделі HSM 12 і HSM 17 мають горизонтальну тришнекову схему, об'єм відповідно 12 і 17 м³, електричний привід 30 кВт і вагову систему для контролю завантаження та рецептур [3].

Для моделі DeLaval HSM 12 характерні такі параметри: довжина 5,41 м, висота 2,95 м, ширина 2,02 м, об'єм 12 м³, потужність електроприводу 30 кВт, маса 4750 кг [3]. Наявність стаціонарного електроприводу зменшує залежність від трактора, а тришнекова горизонтальна схема забезпечує активне переміщення кормової маси по довжині камери. Разом з тим така конструкція має типові вузли, що потребують уваги при модернізації: робочі шнеки, ножі, днище і бокові стінки змішувальної камери, вузол вивантаження, вагові опори та електропривід.

Trioliet Triomatic T20 також використовує стаціонарні змішувачі як основу кормокухні. Виробник пропонує змішувачі різного об'єму від 7 до 52 м³ з одним, двома або трьома шнеками, електроприводом і центральним керуванням [6]. Такий діапазон дає змогу адаптувати систему як до невеликих, так і до великих молочних ферм. Перевагою є можливість готувати базовий раціон у стаціонарному змішувачі, а потім передавати його на роботизований роздавач або інший транспортний модуль.

У системах Lely Vector, GEA DairyFeed F4500 та Wasserbauer Shuttle Eco змішування виконується безпосередньо у мобільному роботі. Це зменшує кількість проміжних транспортних операцій, проте обмежує об'єм однієї партії та підвищує вимоги до точності завантаження компонентів у робот. Для малих і частих партій важливими стають енергоспоживання, рівномірність змішування короткого циклу, стабільність дозованої видачі і здатність робота працювати з різними групами тварин без переналаштування механічної частини.

Таблиця 1.1 - Аналіз конструкцій змішувачів кормів для автоматизованих систем годівлі

Тип змішувача	Робочий орган	Переваги	Недоліки
Вертикальний шнековий	Один або два вертикальні шнеки з ножами.	Добре працює з тюками, довгими стеблами, великим об'ємом маси.	Можливі підвищені енерговитрати при перевантаженні; складніше забезпечити точне вивантаження малих порцій.
Горизонтальний тришнековий	Три горизонтальні шнеки з ножами і напрямними витками.	Інтенсивне змішування, зручна інтеграція з ваговою системою і транспортером, рівномірне вивантаження.	Зношування днища, ножів і витків; чутливість до нерівномірного завантаження; можливі мертві зони біля торців.

Лопатевий або барабанний	Лопаті, гребінки або барабан з внутрішніми елементами.	М'яке перемішування, менше пошкодження структури корму.	Нижча ефективність різання довгих волокон; обмеження за вологістю і складом суміші.
Бортовий змішувач робота	Компактний шнек, лопаті або вільнопадаючий змішувач.	Малі партії, часта годівля, суміщення змішування і роздавання.	Обмежений об'єм, висока залежність від точності завантаження і стану акумулятора.

Аналіз конструкцій показує, що для теми модернізації технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі найбільш обґрунтованим об'єктом удосконалення є стаціонарний горизонтальний змішувач. На відміну від мобільного змішувача, він працює як складова автоматизованої лінії, може бути пов'язаний із силосами, дозаторами, ваговою системою і роздавальним модулем. На відміну від компактного робота-змішувача, стаціонарний агрегат має більший об'єм і може забезпечувати приготування партій для декількох груп тварин.

Основними напрямками модернізації стаціонарного змішувача можуть бути: удосконалення форми шнеків і ножів для підвищення однорідності суміші; зменшення мертвих зон у змішувальній камері; застосування зносостійких накладок у зонах контакту з абразивними компонентами; поліпшення вузла вивантаження для рівномірної подачі на транспортер або робот; встановлення датчиків контролю навантаження приводу, маси партії та залишків; оптимізація електроприводу з урахуванням частих пусків. Усі ці заходи спрямовані на підвищення якості кормосуміші та узгодженості процесів приготування і роздавання кормів.

1.4 Висновки до розділу

У розділі встановлено, що процес приготування кормів на молочно-товарній фермі є нерозривно пов'язаним із процесом їх роздавання. Якість роботи

кормоцеху визначається не тільки здатністю змішувача подрібнити і перемішати компоненти, а й своєчасною доставкою, рівномірною видачею та контролем залишків на кормовому столі.

Сучасні автоматизовані системи годівлі DeLaval Optimat, Lely Vector, GEA DairyFeed F4500, Trioliet Triomatic та Wasserbauer Shuttle Eco побудовані за різними компоновками, однак мають спільну ознаку: вони переходять від одноразового або дворазового роздавання до багаторазової видачі свіжої кормосуміші протягом доби. Це зменшує залежність процесу від оператора і дає змогу точніше керувати раціонами окремих груп тварин.

Порівняння систем показало, що центральною ланкою автоматизованої годівлі є вузол дозування і змішування. У стаціонарних рішеннях саме змішувач визначає однорідність кормосуміші, продуктивність лінії, стабільність видачі та можливість роботи за кількома рецептами.

Аналіз конструкцій змішувачів засвідчив, що найбільш перспективним об'єктом удосконалення для даної теми є стаціонарний горизонтальний змішувач, подібний за призначенням до DeLaval HSM12. Його модернізація має бути спрямована на підвищення рівномірності змішування, зменшення енерговитрат, зниження зношування робочих органів і забезпечення стабільного вивантаження готової суміші в автоматизовану систему роздавання.

Необхідність удосконалення стаціонарного змішувача обґрунтовується тим, що він є технічною основою модернізованого процесу приготування кормів. Підвищення його ефективності забезпечить кращу узгодженість операцій приготування і роздавання, точніше дотримання раціонів, менші втрати кормів і вищу надійність роботи молочно-товарної ферми.

2 Модернізація технологічного процесу приготування кормів

2.1 Обґрунтування важливості питання

Для молочно-товарної ферми технологічний процес приготування кормів є одним із ключових елементів виробництва молока, оскільки саме від стабільності раціону, рівномірності змішування та своєчасності роздавання залежить споживання сухої речовини, продуктивність тварин і рівень втрат кормів. У сучасних умовах доцільним є перехід від періодичного змішування мобільними агрегатами до централізованого приготування кормосуміші у стаціонарному змішувачі з подальшим автоматизованим або напіваавтоматизованим роздаванням за технологічними групами. Такий підхід відповідає принципам TMR-годовлі, коли всі компоненти раціону подаються тваринам у вигляді однорідної повнораціонної кормосуміші [1].

Особливістю процесу є нерозривність операцій зберігання, дозування, завантаження, подрібнення, змішування, транспортування і роздавання. Якщо хоча б одна з цих операцій виконується із запізненням або з недостатньою точністю, порушується склад раціону, зростає вибіркове поїдання окремих фракцій, погіршується використання поживних речовин і збільшуються залишки на кормовому столі. Тому модернізація має бути спрямована не лише на заміну окремої машини, а на удосконалення всієї технологічної лінії приготування кормів.

Автоматизовані системи типу DeLaval Optimat передбачають зважування, різання, змішування кормів у стаціонарних змішувачах і доставку готової суміші до кормового столу роздавальними вагонами або транспортерами [2]. У таких системах стаціонарний змішувач є центральною машиною процесу: він приймає грубі та соковиті корми, комбікорми і мінеральні добавки, забезпечує їх рівномірне перемішування та дозоване вивантаження у роздавальний засіб. Саме тому подальший розрахунок у розділі виконано для технологічної схеми із

стаціонарним горизонтальним змішувачем, завантажувачем стеблових кормів, бункером комбікорму та роздавальним вагоном.

2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги

Об'єктом модернізації є молочно-товарна ферма на 200 дійних корів зі шлейфом. Дійні корови утримуються в одному приміщенні, а тварини шлейфу - в окремому приміщенні. Це зумовлює необхідність приготування не однієї, а кількох кормосумішей за технологічними групами. У склад раціонів прийнято сіно, сінаж, силос і комбікорм. Для забезпечення стабільної роботи кормоцеху добові потреби визначаються за кожною групою тварин і кожним видом корму.

При розробці технологічної схеми прийнято такі зоотехнічні вимоги: дозування концентрованих кормів має виконуватися з точністю не нижче $\pm 5\%$, грубих і соковитих кормів - не нижче $\pm 10\%$; кормосуміш повинна бути однорідною, без грудок і надмірно довгих частинок; тривалість змішування не повинна призводити до руйнування структури волокна; корм має подаватися на кормовий стіл рівномірним шаром; раціон для корів і шлейфу повинен готуватися окремими партіями [1].

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунку добової потреби в кормах

Технологічна група	Кількість голів	Силос, кг/гол.	Сінаж, кг/гол.	Сіно, кг/гол.	Комбікорм, кг/гол.
Дійні корови	200	25,0	12,0	3,0	7,0
Сухостійні корови і нетелі	50	15,0	7,0	4,0	2,0
Ремонтний молодняк 6-18 міс	90	10,0	5,0	2,5	1,5
Телята до 6 міс	40	2,0	2,0	1,5	1,0

Добову потребу у кожному виді корму визначають за формулою

$$M_{\text{доб},i} = \sum_{j=1}^n N_j \cdot q_{ij} \quad (2.1)$$

де

$M_{\text{доб},i}$ – добова потреба в i -му виді корму, кг/добу;

N_j – поголів'я j -ї технологічної групи, гол.;

q_{ij} – добова норма видачі i -го корму для однієї голови j -ї групи, кг/гол.;

n – кількість технологічних груп тварин.

Розрахункові підстановки за формулою (2.1):

$$M_{\text{сил}} = 200 \cdot 25 + 50 \cdot 15 + 90 \cdot 10 + 40 \cdot 2 = 6730 \text{ кг/добу} = 6,73 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{сінж}} = 200 \cdot 12 + 50 \cdot 7 + 90 \cdot 5 + 40 \cdot 2 = 3280 \text{ кг/добу} = 3,28 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{сіно}} = 200 \cdot 3 + 50 \cdot 4 + 90 \cdot 2,5 + 40 \cdot 1,5 = 1085 \text{ кг/добу} = 1,085 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{кк}} = 200 \cdot 7 + 50 \cdot 2 + 90 \cdot 1,5 + 40 \cdot 1 = 1675 \text{ кг/добу} = 1,675 \text{ т/добу}$$

Загальна добова маса кормів, що має проходити через лінію приготування і роздавання, становить 12,77 т/добу. Ця маса розподіляється між окремими партіями залежно від кратності годівлі і кількості раціонів.

2.3 Розробка технологічної схеми процесу

За основу прийнято централізовану схему, у якій стеблові та соковиті корми зберігаються у сховищах, комбікорм подається з окремого бункера, а приготування кормосуміші виконується у стаціонарному горизонтальному змішувачі. На відміну від базової схеми, до технологічної лінії введено завантажувач стеблових кормів, який забезпечує механізовану подачу сіна, сінажу та силосу до змішувача. Це зменшує ручні операції, стабілізує завантаження змішувача та підвищує точність виконання рецепта.

Технологічний процес здійснюється у такій послідовності. Силос і сінаж із траншей, а також сіно із сараю подаються фронтальним навантажувачем або завантажувачем стеблових кормів до приймального транспортера. Комбікорм із бункера за допомогою шнекового транспортера дозовано подається у змішувач. Після зважування компонентів у змішувальній камері виконується різання довговолокнистих частинок, переміщення корму вздовж шнеків і формування однорідної кормосуміші. Готовий корм вивантажується через центральне вікно на роздавальний вагон або стрічковий транспортер, після чого подається у приміщення дійних корів і приміщення шлейфу. Контроль маси компонентів та облік витрат кормів виконуються ваговою системою і блоком керування [2, 3].

Використання стаціонарного змішувача з електроприводом доцільне для ферми з постійною кількістю поголів'я, оскільки машина працює на одному місці, не потребує трактора для приводу і може бути інтегрована з автоматизованими транспортерами та роздавальними вагонами. Для горизонтальних змішувачів характерна наявність одного, двох або трьох шнеків, ножів, протирізальних планок, вивантажувальних дверцят, стрічкового транспортера і вагової системи [4, 5].

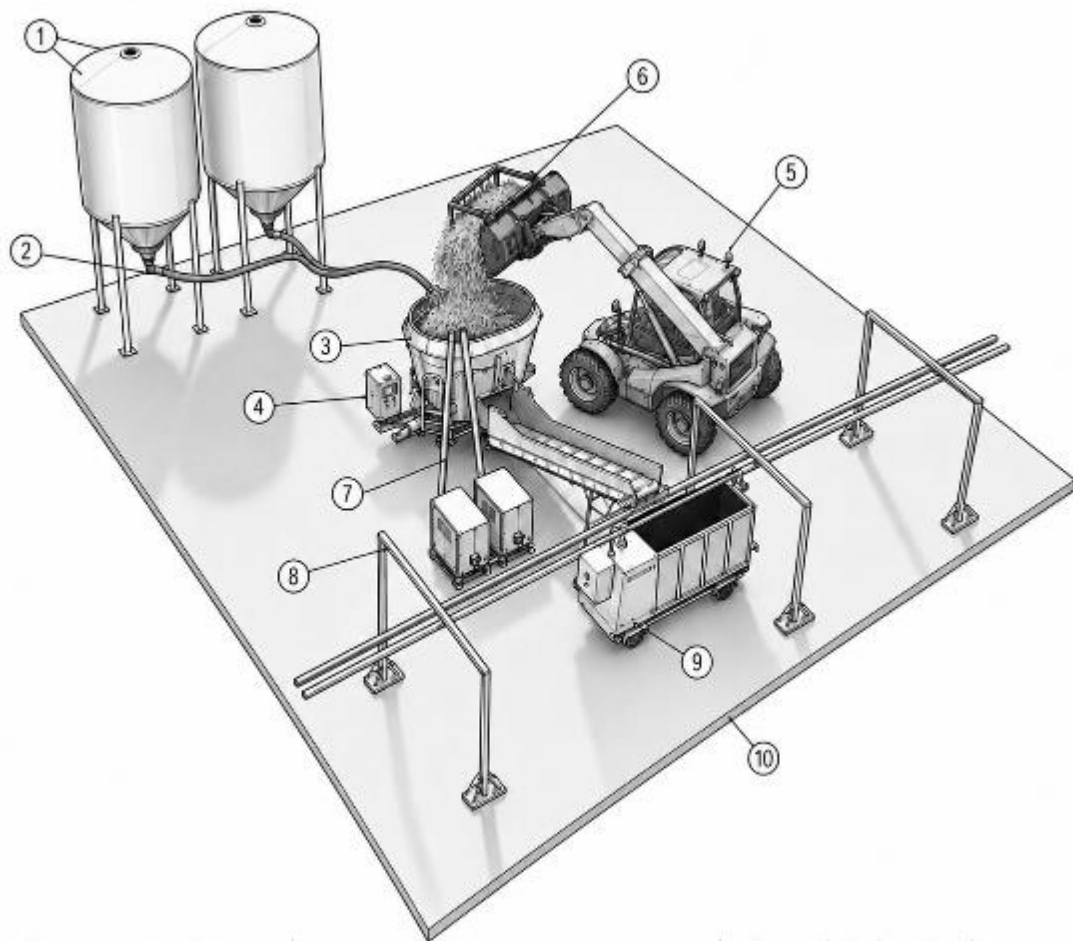


Рисунок 2.1 - Технологічна схема приготування та роздавання кормосуміші

Основними перевагами запропонованої схеми є скорочення часу підготовки кормів, можливість роботи з декількома рецептами, підвищення точності дозування комбікорму, зменшення витрат пального за рахунок використання електроприводу та можливість подальшої автоматизації процесу.

2.4 Розрахунок місткості сховищ для кормів

Місткість сховищ визначається за річною потребою у кормах з урахуванням нормативного запасу та можливих втрат під час зберігання. Для силосу та сінажу передбачено траншейні сховища, для сіна - закритий сарай, для комбікорму - металевий бункерний силос на 30 діб роботи ферми. При проектуванні траншей слід забезпечити достатню щільність укладання корму, оскільки висока щільність зменшує доступ повітря, втрати сухої речовини та нагрівання корму під час зберігання [6].

Річну потребу в кормах визначають за формулою

$$M_{\text{річ},i} = M_{\text{доб},i} \cdot D \cdot k_{\text{вт},i} \quad (2.2)$$

де

$M_{\text{річ},i}$ – річна потреба в і-му виді корму з урахуванням втрат, т;

$M_{\text{доб},i}$ – добова потреба в і-му виді корму, т/добу;

D – тривалість використання корму, діб;

$k_{\text{вт},i}$ – коефіцієнт урахування втрат під час зберігання.

Для силосу і сінажу приймаємо $D = 365$ діб, $k_{\text{вт}} = 1,10$; для сіна $k_{\text{вт}} = 1,15$; для комбікорму запас приймається на 30 діб, $k_{\text{вт}} = 1,05$.

$$M_{\text{сил},\text{річ}} = 6,73 \cdot 365 \cdot 1,10 = 2702,1 \text{ т}$$

$$M_{\text{сінж},\text{річ}} = 3,28 \cdot 365 \cdot 1,10 = 1316,9 \text{ т}$$

$$M_{\text{сіно},\text{річ}} = 1,085 \cdot 365 \cdot 1,15 = 455,4 \text{ т}$$

$$M_{\text{кк},30} = 1,675 \cdot 30 \cdot 1,05 = 52,8 \text{ т}$$

Потрібний об'єм сховища визначають за формулою

$$V_{\text{сх},i} = \frac{M_{\text{річ},i}}{\rho_i} \quad (2.3)$$

де

$V_{\text{сх},i}$ – потрібний об'єм сховища для і-го виду корму, м³;

$M_{\text{річ},i}$ – маса корму для зберігання, т;

ρ_i – об'ємна маса корму, т/м³.

Приймаємо об'ємну масу силосу 0,65 т/м³, сінажу 0,55 т/м³, пресованого сіна у складі 0,12 т/м³, комбікорму 0,65 т/м³.

$$V_{\text{сил}} = \frac{2702,1}{0,65} = 4157,1 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{сіңж}} = \frac{1316,9}{0,55} = 2394,4 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{сіно}} = \frac{455,4}{0,12} = 3795,2 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{кк}} = \frac{52,8}{0,65} = 81,2 \text{ м}^3$$

Корисний об'єм прямокутної траншеї визначають за формулою

$$V_{\text{тр}} = B \cdot h \cdot L \cdot k_{\text{зап}} \quad (2.4)$$

де

$V_{\text{тр}}$ – корисний об'єм траншеї, м^3 ;

B – внутрішня ширина траншеї, м;

h – робоча висота укладання корму, м;

L – довжина траншеї, м;

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення траншеї.

Для силосу приймаємо дві траншеї шириною 12 м, висотою 3,5 м і довжиною 60 м:

$$V_{\text{тр.сил}} = 2 \cdot 12 \cdot 3,5 \cdot 60 \cdot 0,90 = 4536 \text{ м}^3 > 4157,1 \text{ м}^3$$

Для сінажу приймаємо дві траншеї шириною 10 м, висотою 3,2 м і довжиною 43 м:

$$V_{\text{тр.сіңж}} = 2 \cdot 10 \cdot 3,2 \cdot 43 \cdot 0,90 = 2476,8 \text{ м}^3 > 2394,4 \text{ м}^3$$

Площа сараю для сіна визначається за формулою

$$F_c = \frac{V_{\text{сіно}}}{h_{\text{ск}} \cdot k_{\text{в}}} \quad (2.5)$$

де

F_c – потрібна площа сараю для сіна, м^2 ;

$V_{\text{сіно}}$ – розрахунковий об'єм сіна, м^3 ;

$h_{\text{ск}}$ – висота складування сіна, м;

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання об'єму сараю.

$$F_c = \frac{3795,2}{5,0 \cdot 0,72} = 1054,2 \text{ м}^2$$

Приймаємо сарай розмірами 24×45 м, площею 1080 м². Для комбікорму приймаємо два бункери місткістю по 45 м³, загальна місткість 90 м³, що перевищує розрахункову потребу 81,2 м³.

Таблиця 2.2 - Розрахунок потреби у сховищах для кормів

Корм	М _{збер} , т	ρ, т/м ³	V _{сх} , м ³
Силос	2702,1	0,65	4157,1
Сінаж	1316,9	0,55	2394,4
Сіно	455,4	0,12	3795,2
Комбікорм	52,8	0,65	81,2

Таблиця 2.3 - Прийнята конфігурація сховищ

Корм	К-сть	Сховище	V _{кор} , м ³	Висновок
Силос	2	12×3,5×60 м	4536	Достатньо
Сінаж	2	10×3,2×43 м	2476,8	Достатньо
Сіно	1	24×45 м, h=5 м	3888	Достатньо
Комбік.	2	45 м ³	90	Достатньо

2.5 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу

Для організації роботи лінії приймаємо дворазову годівлю. За одне годування готуються дві партії кормосуміші: окрема партія для дійних корів і окрема партія для тварин шлейфу. Таким чином за добу виконується чотири цикли змішування.

Масу однієї партії кормосуміші визначають за формулою

$$M_6 = \frac{M_{\text{доб}}}{z \cdot n_{\text{ц}}} \quad (2.6)$$

де

M₆ – маса однієї партії кормосуміші, т;

M_{доб} – загальна добова потреба в кормах, т/добу;

z – кратність годівлі, разів/добу;

n_ц – кількість циклів змішування за одне годування.

$$M_6 = \frac{12,77}{2 \cdot 2} = 3,19 \text{ т}$$

Потрібний геометричний об'єм змішувача визначають з урахуванням густини кормосуміші та коефіцієнта заповнення:

$$V_M = \frac{M_6}{\rho_{\text{см}} \cdot \varphi_3} \quad (2.7)$$

де

V_M – потрібний геометричний об'єм змішувача, м³;

$\rho_{\text{см}}$ – середня об'ємна маса кормосуміші, т/м³;

φ_3 – коефіцієнт заповнення змішувача.

Приймаємо $\rho_{\text{см}} = 0,35$ т/м³, $\varphi_3 = 0,85$.

$$V_M = \frac{3,19}{0,35 \cdot 0,85} = 10,73 \text{ м}^3$$

За розрахунком для прийнятого поголів'я достатнім є стаціонарний горизонтальний змішувач місткістю 12 м³. Запас за місткістю становить приблизно 11,8 %, що дозволяє компенсувати коливання вологості та об'ємної маси кормів.

Продуктивність завантажувача стеблових кормів визначають за потребою у грубих і соковитих кормах. Добова маса стеблових і соковитих кормів становить:

$$M_{\text{ст}} = 6,73 + 3,28 + 1,085 = 11,095 \text{ т/добу}$$

Якщо час роботи завантажувача на добу прийняти 2 год, то потрібна продуктивність становитиме:

$$Q_{\text{зав}} = \frac{11,095}{2} = 5,55 \text{ т/год}$$

Отже, для технологічної лінії приймається завантажувач стеблових кормів продуктивністю не менше 6 т/год.

Продуктивність стрічкового або рейкового роздавального засобу для подачі кормосуміші визначають за формулою

$$Q_{\text{л}} = \frac{3600 \cdot B_{\text{л}} \cdot h_{\text{ш}} \cdot v_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{к}} \cdot \varphi}{1000} \quad (2.8)$$

де

$Q_{\text{л}}$ – продуктивність роздавального транспортера, т/год;

$B_{\text{л}}$ – ширина стрічки або жолоба подачі, м;

$h_{\text{ш}}$ – середня висота шару корму, м;

$v_{\text{л}}$ – швидкість руху стрічки або вагону, м/с;

$\rho_{\text{к}}$ – об’ємна маса готової кормосуміші, т/м³;

ϕ – коефіцієнт заповнення поперечного перерізу шару.

Приймаємо $B_{\text{л}} = 0,65$ м, $h_{\text{ш}} = 0,10$ м, $v_{\text{л}} = 0,35$ м/с, $\rho_{\text{к}} = 0,35$ т/м³, $\phi = 0,65$.

$$Q_{\text{л}} = \frac{3600 \cdot 0,65 \cdot 0,10 \cdot 0,35 \cdot 0,35 \cdot 0,65}{1000} = 18,6 \text{ т/год}$$

Отримана продуктивність перевищує потрібну продуктивність змішування і забезпечує рівномірне вивантаження однієї партії без затримки технологічного циклу.

Тривалість одного циклу приготування кормосуміші визначають за формулою

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{вив}} + t_{\text{обс}} \quad (2.9)$$

де

$t_{\text{ц}}$ – тривалість одного циклу приготування, хв;

$t_{\text{зав}}$ – час завантаження компонентів, хв;

$t_{\text{зм}}$ – час змішування, хв;

$t_{\text{вив}}$ – час вивантаження кормосуміші, хв;

$t_{\text{обс}}$ – допоміжний час на перемикання, контроль і підготовку, хв.

Приймаємо $t_{\text{зав}} = 12$ хв, $t_{\text{зм}} = 10$ хв, $t_{\text{вив}} = 6$ хв, $t_{\text{обс}} = 2$ хв.

$$t_{\text{ц}} = 12 + 10 + 6 + 2 = 30 \text{ хв} = 0,50 \text{ год}$$

Технічну продуктивність процесу за готовою кормосумішню визначають за формулою

$$Q_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{б}}}{t_{\text{ц}}} \quad (2.10)$$

де

$Q_{\text{пр}}$ – технічна продуктивність процесу, т/год;

$M_{\text{б}}$ – маса однієї партії кормосуміші, т;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, год.

$$Q_{\text{пр}} = \frac{3,19}{0,50} = 6,38 \text{ т/год}$$

За чотири цикли на добу сумарна тривалість роботи змішувача становить 2,0 год, що залишає резерв часу для підготовчих операцій, очищення обладнання і коригування рецептів.

Потрібну потужність електродвигуна приводу змішувача визначають за питомою потужністю змішування:

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_N \cdot M_{\text{б}} \cdot k_3}{\eta} \quad (2.11)$$

де

$P_{\text{дв}}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт;

k_N – питома потужність змішування, кВт/т;

$M_{\text{б}}$ – маса партії кормосуміші, т;

k_3 – коефіцієнт запасу потужності;

η – коефіцієнт корисної дії приводу.

Приймаємо $k_N = 9,0$ кВт/т, $k_3 = 1,15$, $\eta = 0,92$.

$$P_{\text{дв}} = \frac{9,0 \cdot 3,19 \cdot 1,15}{0,92} = 35,9 \text{ кВт}$$

За результатами розрахунку приймається електродвигун потужністю 37 кВт з редуктором. Для плавного пуску і зменшення ударних навантажень доцільно передбачити шафу керування з пристроєм плавного пуску або частотним перетворювачем, що відповідає комплектації стаціонарних горизонтальних змішувачів [4, 5].

2.6 Висновки до розділу

У розділі виконано обґрунтування модернізації технологічного процесу приготування кормів для молочно-товарної ферми на 200 дійних корів зі шлейфом. Встановлено, що добова потреба в кормах становить 12,77 т, у тому числі 6,73 т силосу, 3,28 т сінажу, 1,085 т сіна та 1,675 т комбікорму.

Розраховано місткість кормосховищ: для силосу потрібно 4157,1 м³, для сінажу 2394,4 м³, для сіна 3795,2 м³, для комбікорму 81,2 м³ на 30 діб. Прийнято

дві траншеї для силосу $12 \times 3,5 \times 60$ м, дві траншеї для сінажу $10 \times 3,2 \times 43$ м, сарай для сіна 24×45 м і два бункери комбікорму по 45 м^3 .

Розроблено технологічну схему з механізованим завантаженням стеблових кормів, дозованою подачею комбікорму, стаціонарним горизонтальним змішувачем і роздаванням кормосуміші окремо для приміщення дійних корів та приміщення шлейфу. За розрахунком маса однієї партії становить 3,19 т, потрібний об'єм змішувача - $10,73 \text{ м}^3$, тому доцільно прийняти стаціонарний змішувач місткістю 12 м^3 з електродвигуном 37 кВт. Запропонована схема створює основу для подальшого конструктивного удосконалення стаціонарного змішувача кормів.

3 Удосконалення стаціонарного змішувача кормів для ВРХ

3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення

Стаціонарний змішувач кормів є центральною машиною технологічної лінії приготування повнораціонної кормової суміші для молочно-товарної ферми. На відміну від мобільних кормороздавачів, він працює у складі стаціонарної системи приготування та роздавання кормів, тому його продуктивність, рівномірність змішування і стабільність вивантаження безпосередньо визначають ритмічність усього процесу годівлі. Для ферми з 200 дійними коровами зі шлейфом особливо важливо забезпечити швидке приготування різних раціонів за технологічними групами, оскільки корови утримуються в одному приміщенні, а ремонтний молодняк і сухостійні тварини - в іншому.

Аналіз сучасних рішень показує, що у стаціонарних системах годівлі застосовують горизонтальні та вертикальні змішувачі, які працюють разом із бункерами концентрованих кормів, завантажувачами стеблових кормів і автоматизованими роздавачами. Горизонтальний стаціонарний змішувач DeLaval HSM12 призначений для приготування TMR і PMR та має горизонтальну систему змішування із шнеками, що забезпечують переміщення і різання компонентів раціону [13]. Аналогічні горизонтальні машини Storti виконуються як причіпні або стаціонарні, а стаціонарне виконання передбачає нерухому раму, електродвигун, шафу керування з плавним пуском або інвертором та стрічкові транспортери вивантаження [14].

Основним недоліком базових горизонтальних змішувачів у роботі з різномірними кормами є нерівномірність переміщення маси у зоні центрального вивантаження, а також недостатньо інтенсивне руйнування довговолокнистих включень сіна, соломи або сінажу. У разі використання шнеків із сталим кроком навивки кормова маса переважно переміщується вздовж осі, однак у крайніх та

придонних зонах можуть утворюватися застійні ділянки. Це збільшує тривалість змішування, погіршує однорідність кормосуміші та підвищує витрати енергії на один заміс.

Удосконалення доцільно спрямувати не на зміну всієї машини, а на зміну робочого органа - шнека. Такий підхід є конструктивно простішим: зберігаються корпус, опорна рама, привід, вивантажувальне вікно та загальна компоновка стаціонарного змішувача. Модернізація шнека дозволяє підвищити інтенсивність перемішування, поліпшити подачу корму до центрального вивантажувального вікна, зменшити кількість залишків у бункері та забезпечити більш стабільну якість раціону. Для дійних корів це має важливе значення, оскільки повнораціонна суміш повинна бути однорідною, не розшаровуватися під час роздавання і не давати тваринам можливості вибірково поїдати окремі компоненти [19].

3.2 Вихідні дані

У розрахунках прийнято молочно-товарну ферму на 200 дійних корів зі шлейфом. Приготування корму виконується окремо для двох основних технологічних груп: дійних корів і шлейфу. До складу раціону входять силос, сінаж, сіно та комбікорм. Система годівлі передбачає використання стаціонарного змішувача з електроприводом та подальше роздавання кормосуміші автоматизованим роздавачем або стрічковим транспортером.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку стаціонарного змішувача

Показник	Позначення	Значення
Кількість дійних корів, гол.	n_k	200
Кількість тварин шлейфу, гол.	$n_{ш}$	100
Добова норма кормосуміші для дійної корови, кг/гол.	m_k	45
Добова норма кормосуміші для шлейфу, кг/гол.	$m_{ш}$	22
Кількість замісів за добу, шт.	$z_{зм}$	4
Прийнята максимальна маса одного замісу, кг	$M_{зм}$	3000
Насипна густина готової суміші, кг/м ³	ρ	450

Показник	Позначення	Значення
Коефіцієнт заповнення бункера	φ	0,75
Об'єм бункера змішувача, м^3	V_6	12
Частота обертання шнеків, хв^{-1}	n	24
Діаметр шнека, м	D	0,55
Діаметр вала шнека, м	d_0	0,16
Довжина робочої частини шнека, м	L	3,60
Середній крок навивки, м	$S_{\text{сер}}$	0,42
Кількість паралельних шнеків, шт.	$z_{\text{ш}}$	2
Орієнтовна тривалість змішування, хв	$t_{\text{зм}}$	10...12

Зоотехнічні вимоги до процесу приготування кормів полягають у забезпеченні однорідності суміші, збереженні структури об'ємних кормів, рівномірному введенні комбікорму та недопущенні надмірного подрібнення волокнистої частини раціону. Для дійних корів кормосуміш повинна мати стабільний склад по всьому об'єму, оскільки нерівномірність змішування призводить до різниці в споживанні сухої речовини і погіршення продуктивності стада [19].

Добова потреба ферми в кормосуміші визначається за формулою:

$$M_{\text{доб}} = n_{\text{к}} m_{\text{к}} + n_{\text{ш}} m_{\text{ш}} \quad (3.1)$$

де $M_{\text{доб}}$ - добова маса кормосуміші, кг;

$n_{\text{к}}$ - кількість дійних корів, гол.;

$m_{\text{к}}$ - добова норма кормосуміші для однієї дійної корови, кг/гол.;

$n_{\text{ш}}$ - кількість тварин шлейфу, гол.;

$m_{\text{ш}}$ - добова норма кормосуміші для однієї тварини шлейфу, кг/гол.

$$M_{\text{доб}} = 200 \cdot 45 + 100 \cdot 22 = 11200 \text{ кг} = 11,2 \text{ т}$$

Маса одного замісу при заданій кількості замісів становить:

$$M_{\text{зм}} = \frac{M_{\text{доб}}}{z_{\text{зм}}} \quad (3.2)$$

де $M_{зм}$ - маса одного замісу, кг;

$z_{зм}$ - кількість замісів за добу, шт.

$$M_{зм} = \frac{11200}{4} = 2800 \text{ кг}$$

З урахуванням нерівномірності завантаження і потреби приготування окремого раціону для дійних корів у подальших розрахунках приймаємо розрахункову масу одного замісу $M_{зм} = 3000$ кг.

3.3 Розробка варіанту удосконалення

За базову компоновку прийнято стаціонарний горизонтальний змішувач із відкритим зверху бункером, двома паралельними горизонтальними шнеками, електродвигуном із редуктором, центральним вивантажувальним вікном і стрічковим транспортером. Така схема відповідає загальному принципу двошнекових горизонтальних кормозмішувачів, у яких шнеки мають зустрічне обертання, а вивантаження виконується через центральні дверцята або стрічку [14].

У базовому варіанті шнек має сталий крок навивки. Кормова маса переміщується вздовж шнека, але при роботі з сумішшю, що містить сіно, сінаж і силос, інтенсивність поперечного перемішування залишається недостатньою. Тому запропоновано удосконалення шнека, яке полягає у застосуванні зустрічної навивки з перемінним кроком, знімних ріжучих ножів та протирізальних планок на стінках бункера. Ліва і права частини кожного шнека повинні подавати корм до центральної зони вивантаження. У центральній частині крок навивки зменшується, що підвищує ущільнення і перемішування перед вивантаженням. На крайніх ділянках крок більший, тому корм швидше переміщується від торців бункера до центра.

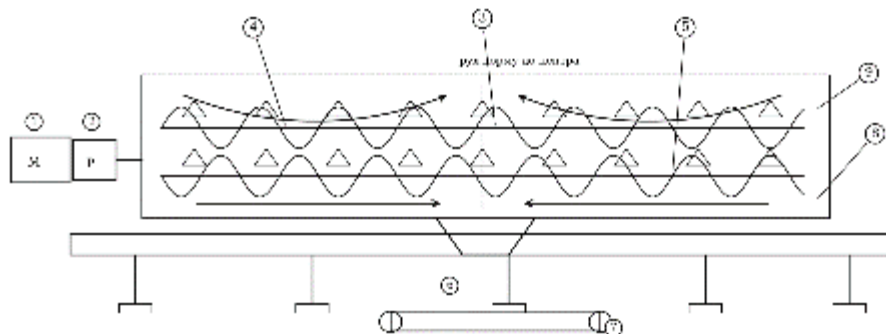
Конструктивно удосконалений шнек складається з трубчастого вала, лівої та правої спіральних стрічок, комплекту знімних ножів, підсилених маточин, торцевих цапф і болтових з'єднань. Ножі розміщуються по спіралі зі зміщенням

на сусідніх витках, що забезпечує різання довговолокнистих компонентів у різних площинах. Протирізальні планки встановлюються на внутрішніх стінках бункера і утворюють з ножами робочу пару для розривання та підрізання волокнистої маси.

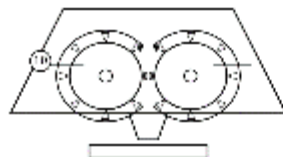
Основні ознаки запропонованого удосконалення:

- зустрічна навивка лівої і правої половини шнека до центрального вивантажувального вікна;
- перемінний крок навивки: більший на кінцевих ділянках і менший у центральній зоні;
- знімні ножі на витках шнека, які можна регулювати або замінювати при зношуванні;
- протирізальні планки на стінках бункера для підвищення якості різання;
- збереження існуючої рами, корпусу, електропривода та вивантажувального транспортера;
- можливість роботи зі стандартними компонентами раціону: силосом, сінажем, сіном і комбікормом.

а) Продовжувальний вигляд



б) Поперечный разрез



- 1 - электродвигатель привода;
- 2 - редуктор привода шнеков;
- 3 - опоры бункера (электронный захват);
- 4 - регулируемые ножи шнеков;
- 5 - выходное окно бункера;
- 6 - регулируемый шаг бункера;
- 7 - электродвигатель привода транспортера;
- 8 - корпус бункера;
- 9 - протирезательная планка;
- 10 - регулируемый шаг;
- 11 - выходное окно бункера и шнеков.

Рисунок 3.1 - Схема удосконаленого стаціонарного горизонтального двошнекового змішувача кормів

Застосування такої конструкції забезпечує більш організований рух корму до центрального вивантажувального вікна. У поздовжньому напрямку корм переміщується від торців бункера до середини, а в поперечному - перекидається між двома шнеками. Завдяки зустрічному обертанню шнеків кормова маса не лише транспортується, але й піднімається та перекидається, що збільшує кратність перемішування. Зменшення кроку у центральній зоні запобігає різкому розвантаженню недостатньо перемішаної маси і дає можливість отримати однорідніший потік на транспортер.

Для реалізації удосконалення не потрібно змінювати загальну схему технологічної лінії. Завантаження силосу, сінажу і сіна виконується завантажувачем стеблових кормів або фронтальним навантажувачем через відкриту верхню частину бункера, комбікорм подається з дозувального бункера, а готова суміш через центральне вікно потрапляє на стрічковий транспортер. Електропривід змішувача виконується через редуктор, що відповідає стаціонарним горизонтальним виконанням кормозмішувачів [14], [15].

3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів

Необхідний робочий об'єм бункера визначаємо за масою найбільшого замісу, насипною густиною кормосуміші та допустимим коефіцієнтом заповнення:

$$V_{\Pi} = \frac{M_{\text{зм}}}{\rho \varphi} \quad (3.3)$$

де V_{Π} - потрібний повний об'єм бункера змішувача, м^3 ;

$M_{\text{зм}}$ - маса одного замісу, кг ;

ρ - насипна густина кормосуміші, $\text{кг}/\text{м}^3$;

φ - коефіцієнт заповнення бункера.

$$V_{\Pi} = \frac{3000}{450 \cdot 0,75} = 8,89 \text{ м}^3$$

Із урахуванням технологічного запасу 15...20 % приймаємо потрібний конструктивний об'єм 10,5...11,0 м³. Тому стаціонарний змішувач з об'ємом бункера 12 м³ забезпечує виконання одного розрахункового замісу.

Коефіцієнт використання бункера становить:

$$k_{\text{в}} = \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{б}}} \quad (3.4)$$

де $k_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання об'єму бункера;

V_{Π} - потрібний повний об'єм бункера, м³;

$V_{\text{б}}$ - прийнятий об'єм бункера змішувача, м³.

$$k_{\text{в}} = \frac{8,89}{12} = 0,74$$

Отримане значення відповідає рекомендованому робочому завантаженню горизонтального змішувача і залишає простір для піднімання та перекидання кормової маси під час перемішування.

Діаметр шнека приймається з урахуванням ширини бункера, висоти шару корму та необхідності забезпечити захоплення нижньої частини кормової маси. Для розрахункового змішувача приймаємо зовнішній діаметр шнека $D = 0,55$ м і діаметр трубчастого вала $d_0 = 0,16$ м.

Площа активного поперечного перерізу шнека визначається за формулою:

$$A_{\text{ш}} = \frac{\pi(D^2 - d_0^2)}{4} \quad (3.5)$$

де $A_{\text{ш}}$ - площа активного поперечного перерізу шнека, м²;

D - зовнішній діаметр шнека, м;

d_0 - діаметр трубчастого вала шнека, м.

$$A_{\text{ш}} = \frac{3,14(0,55^2 - 0,16^2)}{4} = 0,217 \text{ м}^2$$

Для підвищення інтенсивності змішування приймаємо перемінний крок навивки. На крайніх ділянках шнека крок більший, а в центральній зоні - менший:

$$S_{\text{сер}} = \frac{S_1 l_1 + S_2 l_2}{l_1 + l_2} \quad (3.6)$$

де $S_{\text{сер}}$ - середній крок навивки шнека, м;

S_1 - крок навивки на крайніх транспортуючих ділянках, м;

S_2 - крок навивки у центральній змішувально-вивантажувальній зоні, м;

l_1 - сумарна довжина крайніх ділянок, м;

l_2 - довжина центральної ділянки, м.

Приймаємо $S_1 = 0,46$ м, $S_2 = 0,32$ м, $l_1 = 2,40$ м, $l_2 = 1,20$ м.

$$S_{\text{сер}} = \frac{0,46 \cdot 2,40 + 0,32 \cdot 1,20}{2,40 + 1,20} = 0,413 \text{ м}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $S_{\text{сер}} = 0,42$ м.

Кут підйому гвинтової лінії визначається за формулою:

$$\tan \beta = \frac{S_{\text{сер}}}{\pi D} \quad (3.7)$$

де β - кут підйому гвинтової лінії, град.;

$S_{\text{сер}}$ - середній крок навивки, м;

D - зовнішній діаметр шнека, м.

$$\tan \beta = \frac{0,42}{3,14 \cdot 0,55} = 0,243$$

$$\beta = 13,7^\circ$$

Отриманий кут забезпечує не лише осьове переміщення корму, але й достатню складову перекидання маси, що важливо для змішування в горизонтальному бункері.

Теоретичну масову продуктивність двошнекового робочого органа визначаємо за залежністю, яка використовується для розрахунку гвинтових транспортерів сипких матеріалів [17]:

$$Q_{\text{ш}} = 60 A_{\text{ш}} S_{\text{сер}} n \rho \varphi z_{\text{ш}} k_{\text{п}} \quad (3.8)$$

де $Q_{\text{ш}}$ - масова продуктивність шнеків, кг/год;

$A_{\text{ш}}$ - площа активного поперечного перерізу одного шнека, м²;

$S_{\text{сер}}$ - середній крок навивки, м;

n - частота обертання шнека, хв⁻¹;

ρ - насипна густина кормосуміші, кг/м³;

φ - коефіцієнт заповнення робочої зони;

$z_{\text{ш}}$ - кількість шнеків, шт.;

$k_{\text{п}}$ - коефіцієнт зниження продуктивності через ковзання і перемішування.

Приймаємо $A_{\text{ш}} = 0,217 \text{ м}^2$, $S_{\text{сер}} = 0,42 \text{ м}$, $n = 24 \text{ хв}^{-1}$, $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$, $\varphi = 0,35$, $z_{\text{ш}} = 2$, $k_{\text{п}} = 0,25$. Для змішувача коефіцієнт φ і $k_{\text{п}}$ приймаються нижчими, ніж для звичайного транспортера, оскільки значна частина руху корму використовується не на переміщення, а на циркуляцію і перекидання.

$$Q_{\text{ш}} = 60 \cdot 0,217 \cdot 0,42 \cdot 24 \cdot 450 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 0,25 = 10331 \text{ кг/год}$$

$$Q_{\text{ш}} = 10,3 \text{ т/год}$$

Розрахункова продуктивність робочого органа перевищує необхідну продуктивність процесу приготування, тому прийняті геометричні параметри шнеків забезпечують потрібну інтенсивність перемішування і подачі маси до центрального вікна.

Осьова швидкість переміщення корму уздовж шнека визначається через середній крок навивки та частоту обертання:

$$v_{\text{ос}} = \frac{S_{\text{сер}} n}{60} \quad (3.9)$$

де v_{oc} - осьова швидкість переміщення корму, м/с;

$S_{сер}$ - середній крок навивки, м;

n - частота обертання шнека, хв⁻¹.

$$v_{oc} = \frac{0,42 \cdot 24}{60} = 0,168 \text{ м/с}$$

Тривалість змішування визначаємо з урахуванням необхідної кількості циркуляцій кормової маси вздовж бункера:

$$t_{зм} = \frac{k_{ц} L}{v_{oc}} \quad (3.10)$$

де $t_{зм}$ - тривалість змішування, с;

$k_{ц}$ - коефіцієнт кратності циркуляції кормової маси;

L - довжина робочої частини шнека, м;

v_{oc} - осьова швидкість переміщення корму, м/с.

Приймаємо $k_{ц} = 25$, $L = 3,60$ м.

$$t_{зм} = \frac{25 \cdot 3,60}{0,168} = 536 \text{ с} = 8,9 \text{ хв}$$

З урахуванням завантаження компонентів, нерівномірності вологості та потреби досягнення стабільної однорідності приймаємо технологічну тривалість змішування $t_{зм} = 10$ хв.

Кількість ножів на шнеках визначаємо за довжиною робочої частини, кроком встановлення ножів і кількістю шнеків:

$$z_{н} = \frac{L z_{ш}}{a_{н}} + z_{д} \quad (3.11)$$

де $z_{н}$ - загальна кількість ножів, шт.;

L - довжина робочої частини шнека, м;

$z_{ш}$ - кількість шнеків, шт.;

$a_{н}$ - крок встановлення ножів уздовж шнека, м;

z_d - додаткова кількість ножів у центральній зоні, шт.

Приймаємо $a_n = 0,35$ м, $z_d = 4$ шт.

$$z_n = \frac{3,60 \cdot 2}{0,35} + 4 = 24,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо $z_n = 24$ шт., по 12 ножів на кожному шнеку. Додаткові ножі встановлюються поблизу центрального вивантажувального вікна, де формується основний потік готової суміші.

Кількість протирізальних планок приймаємо за кількістю зон взаємодії шнека зі стінками бункера:

$$z_{\Pi} = 2z_c \quad (3.12)$$

де z_{Π} - кількість протирізальних планок, шт.;

z_c - кількість секцій бункера по довжині.

Для чотирьох секцій бункера:

$$z_{\Pi} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ шт.}$$

Приймаємо 8 протирізальних планок, розміщених попарно на бокових стінках бункера.

Потужність, необхідну для виконання процесу змішування, визначаємо за питомими витратами енергії на приготування кормосуміші:

$$P_p = \frac{E_{\Pi} M_{\text{зм}}}{t_{\text{зм}}} \quad (3.13)$$

де P_p - розрахункова потужність на процес змішування, кВт;

E_{Π} - питомі витрати електроенергії на змішування, кВт·год/т;

$M_{\text{зм}}$ - маса одного замісу, т;

$t_{\text{зм}}$ - тривалість змішування, год.

Приймаємо $E_{\Pi} = 1,25$ кВт·год/т, $M_{\text{зм}} = 3,0$ т, $t_{\text{зм}} = 10$ хв = 0,167 год.

$$P_p = \frac{1,25 \cdot 3,0}{0,167} = 22,5 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна визначаємо з урахуванням коефіцієнта запасу та ККД приводу:

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_z P_p}{\eta_{\text{п}}} \quad (3.14)$$

де $P_{\text{дв}}$ - потрібна потужність електродвигуна, кВт;

k_z - коефіцієнт запасу потужності;

P_p - розрахункова потужність на процес змішування, кВт;

$\eta_{\text{п}}$ - ККД механічного приводу.

Приймаємо $k_z = 1,20$, $\eta_{\text{п}} = 0,90$.

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,20 \cdot 22,5}{0,90} = 30,0 \text{ кВт}$$

Для приводу удосконаленого змішувача приймаємо асинхронний електродвигун потужністю 30 кВт із редуктором і можливістю плавного пуску. Використання плавного пуску або інвертора доцільне для стаціонарних змішувачів, оскільки під час запуску завантаженого бункера виникають підвищені пускові моменти [15].

Крутний момент, що передається приводом на шнеки, визначаємо за формулою:

$$M_{\text{кр}} = \frac{9550 P_{\text{дв}}}{n z_{\text{ш}} \eta_{\text{п}}} \quad (3.15)$$

де $M_{\text{кр}}$ - крутний момент на одному шнеку, Н·м;

$P_{\text{дв}}$ - потужність електродвигуна, кВт;

n - частота обертання шнеків, хв⁻¹;

$z_{\text{ш}}$ - кількість шнеків, шт.;

$\eta_{\text{п}}$ - ККД механічного приводу.

$$M_{\text{кр}} = \frac{9550 \cdot 30}{24 \cdot 2 \cdot 0,90} = 6632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отриманий момент враховує роботу одного шнека при рівномірному розподілі потужності між двома робочими органами.

Діаметр вала шнека за умовою кручення визначаємо за формулою:

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[\tau]}} \quad (3.16)$$

де d_b - розрахунковий діаметр вала шнека, м;

$M_{кр}$ - крутний момент на одному шнеку, Н·м;

$[\tau]$ - допустиме дотичне напруження матеріалу вала, Па.

Для сталі звичайної якості приймаємо $[\tau] = 35 \text{ МПа} = 35 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 6632}{3,14 \cdot 35 \cdot 10^6}} = 0,099 \text{ м}$$

З урахуванням шпонкових пазів, динамічних навантажень і зношування приймаємо конструктивний діаметр вала $d_b = 110 \text{ мм}$. Для зменшення маси робочого органа доцільно застосовувати трубчастий вал із привареними спіральними стрічками та посиленими торцевими цапфами.

Перевірку фактичного дотичного напруження виконуємо за формулою:

$$\tau_{\phi} = \frac{16M_{кр}}{\pi d_b^3} \quad (3.17)$$

де τ_{ϕ} - фактичне дотичне напруження у валу, Па;

$M_{кр}$ - крутний момент на одному шнеку, Н·м;

d_b - прийнятий діаметр вала, м.

$$\tau_{\phi} = \frac{16 \cdot 6632}{3,14 \cdot 0,11^3} = 25,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25,4 \text{ МПа}$$

Оскільки $\tau_{\phi} = 25,4 \text{ МПа} < [\tau] = 35 \text{ МПа}$, умова міцності виконується.

Коефіцієнт запасу міцності за крученням визначаємо за формулою:

$$k_m = \frac{[\tau]}{\tau_{\phi}} \quad (3.18)$$

де k_m - коефіцієнт запасу міцності;

$[\tau]$ - допустиме дотичне напруження, МПа;

τ_{ϕ} - фактичне дотичне напруження, МПа.

$$k_m = \frac{35}{25,4} = 1,38$$

Отриманий коефіцієнт запасу достатній для робочого органа, який працює з ударними навантаженнями при захопленні стеблових кормів.

Продуктивність стрічкового вивантажувального транспортера визначаємо за площею шару корму на стрічці, швидкістю руху і насипною густиною суміші:

$$Q_{\text{тр}} = 3600 B h v_{\text{тр}} \rho k_c \quad (3.19)$$

де $Q_{\text{тр}}$ - продуктивність вивантажувального транспортера, кг/год;

B - ширина стрічки, м;

h - середня висота шару корму на стрічці, м;

$v_{\text{тр}}$ - швидкість руху стрічки, м/с;

ρ - насипна густина кормосуміші, кг/м³;

k_c - коефіцієнт використання перерізу потоку.

Приймаємо $B = 0,60$ м, $h = 0,05$ м, $v_{\text{тр}} = 0,55$ м/с, $\rho = 450$ кг/м³, $k_c = 0,75$.

$$Q_{\text{тр}} = 3600 \cdot 0,60 \cdot 0,05 \cdot 0,55 \cdot 450 \cdot 0,75 = 20048 \text{ кг/год}$$

$$Q_{\text{тр}} = 20,0 \text{ т/год}$$

Продуктивність транспортера є достатньою, оскільки вона перевищує розрахункову продуктивність шнеків $Q_{\text{ш}} = 10,3$ т/год і забезпечує швидке очищення центральної зони вивантаження.

Таблиця 3.2 - Розрахункові параметри удосконаленого стаціонарного змішувача

Показник	Позначення	Значення
Маса одного розрахункового замісу, кг	$M_{зм}$	3000
Потрібний повний об'єм бункера, m^3	$V_{п}$	8,89
Прийнятий об'єм бункера, m^3	$V_{б}$	12
Діаметр шнека, м	D	0,55
Діаметр вала шнека, мм	d_v	110
Середній крок навивки, м	$S_{сер}$	0,42
Кут підйому гвинтової лінії, град.	β	13,7
Частота обертання шнеків, $хв^{-1}$	n	24
Розрахункова продуктивність шнеків, т/год	$Q_{ш}$	10,3
Тривалість змішування, хв	$t_{зм}$	10
Кількість ножів, шт.	z_n	24
Потужність електродвигуна, кВт	$P_{дв}$	30
Крутний момент на одному шнеку, Н·м	$M_{кр}$	6632
Коефіцієнт запасу міцності вала	k_m	1,38
Продуктивність вивантажувального транспортера, т/год	$Q_{тр}$	20,0

Розрахунки показують, що запропонований удосконалений шнек із зустрічною навивкою до центра та перемінним кроком забезпечує потрібну продуктивність приготування кормосуміші для ферми на 200 дійних корів зі шлейфом. Основним конструктивним результатом модернізації є підвищення інтенсивності переміщення корму до центрального вивантажувального вікна та збільшення кількості зон різання волокнистої маси.

3.5 Висновки до розділу

У розділі обґрунтовано необхідність удосконалення стаціонарного горизонтального змішувача кормів для ВРХ. Встановлено, що при роботі з

раціоном, до складу якого входять силос, сінаж, сіно і комбікорм, основним напрямом модернізації є покращення роботи шнекового змішувального органа.

Запропоновано конструктивне удосконалення шнека, яке полягає у використанні зустрічної навивки до центрального вивантажувального вікна, перемінного кроку навивки, знімних ножів та протирізальних планок. Така схема забезпечує направлений рух кормової маси до центра, активніше перекидання між шнеками і більш рівномірне вивантаження готової суміші.

Виконано розрахунок основних конструкційно-технологічних параметрів. Для одного замісу масою 3000 кг потрібний об'єм бункера становить 8,89 м³, тому змішувач об'ємом 12 м³ має достатній запас. Розрахункова продуктивність шнеків становить 10,3 т/год, тривалість змішування прийнята 10 хв, потужність електродвигуна - 30 кВт, діаметр вала шнека - 110 мм. Перевірка міцності показала, що фактичне дотичне напруження у валу не перевищує допустимого, а коефіцієнт запасу міцності становить 1,38.

Отже, запропонована модернізація є технологічно доцільною, не потребує повної зміни конструкції змішувача і може бути реалізована шляхом заміни або переобладнання шнекового робочого органа.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги охорони праці при приготуванні кормів для ВРХ

Охорона праці при приготуванні кормів на молочно-товарній фермі є складовою технологічної надійності процесу годівлі. У розглянутій технології використовуються сховища сіна, сінажу, силосу та комбікорму, завантажувач стеблових кормів, стаціонарний змішувач, приводи з електродвигунами і редукторами, вивантажувальні транспортери та засоби дозування. Тому безпечна робота повинна забезпечуватися не лише інструктажем оператора, а й правильним компонуванням обладнання, огородженням рухомих частин, справністю електрообладнання, контролем пилу, шуму, пожежної небезпеки і санітарного стану робочої зони [20], [21].

Організація робіт у кормоцеху або на ділянці приготування кормів повинна відповідати вимогам законодавства про охорону праці. Роботодавець забезпечує безпечні умови праці, справний стан обладнання, навчання працівників, наявність інструкцій, засобів колективного та індивідуального захисту. Працівники, що обслуговують змішувач, транспортери, завантажувачі й електрообладнання, допускаються до самостійної роботи після вступного, первинного інструктажу, стажування на робочому місці та перевірки знань з питань охорони праці [20], [22].

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами під час приготування кормів є обертання шнеків і валів, затягування одягу в приводні механізми, защемлення в зонах транспортерів, падіння кормової маси при завантаженні, підвищена запиленість від сіна та комбікорму, шум і вібрація приводів, можливість ураження електричним струмом, пожежна небезпека сухих кормів, а також біологічне забруднення від залишків корму. Для зменшення цих ризиків робоча зона повинна бути обладнана огороженнями, блокуваннями, аварійними вимикачами, місцевим освітленням, вентиляцією та зручними проходами [21], [23].

Планування ділянки приготування кормів слід виконувати так, щоб потоки сировини і готової кормосуміші не перетиналися з проходами людей. Силос і сінаж подаються до змішувача механізовано, сіно після попереднього подрібнення або розпушення завантажується завантажувачем стеблових кормів, комбікорм надходить із бункера через дозувальний пристрій. Проходи біля обладнання повинні бути вільними, підлога - рівною, неслизькою та очищеною від залишків корму, а місця керування - розташованими поза зоною падіння матеріалу і поза зоною можливого контакту з рухомими органами [21].

Виробниче приміщення повинно мати природне або штучне освітлення, достатнє для контролю завантаження, роботи шнеків, приводу, транспортерів і запірних пристроїв. У місцях утворення пилу необхідно передбачати провітрювання або аспірацію, а при роботі з сухими кормами не допускати накопичення пилу на електродвигунах, кабельних трасах, світильниках і горизонтальних поверхнях. Відходи корму та пил слід регулярно прибирати сухим або вологим способом без застосування відкритого вогню [21], [25].

До роботи допускаються особи, які пройшли медичний огляд у встановлених випадках, навчання та інструктаж, знають призначення органів керування змішувача і порядок аварійного зупинення. Оператор повинен працювати у справному спецодязі, захисному взутті, рукавицях, за потреби - у захисних окулярах, протипиловому респіраторі та засобах захисту слуху. Спецодяг має бути застібнутий, без звисаючих кінців, які можуть бути захоплені обертовими частинами [22], [24].

Для безпечної експлуатації обладнання необхідно вести журнали інструктажів, оглядів і технічного обслуговування. Результати огляду електрообладнання, заземлення, захисних кожухів, стану аварійних вимикачів і блокувань доцільно фіксувати в журналі перед початком зміни. У разі виявлення несправностей змішувач не запускають до їх усунення відповідальною особою або ремонтним персоналом [22], [23].

4.2 Вимоги охорони праці при роботі зі змішувачем

Стаціонарний горизонтальний змішувач кормів є машиною безперервно-періодичної дії, у якій змішування здійснюється горизонтальними шнеками, а вивантаження - через центральне або бокове вікно на стрічковий транспортер. Основними зонами підвищеної небезпеки є відкритий верхній бункер, внутрішній простір змішувальної камери, привід шнеків, редуктор, муфти, вивантажувальні дверцята, транспортер і місце завантаження стеблових кормів. Конструкція повинна мати огороження, попереджувальні написи, доступні органи аварійного вимкнення та блокування люків або решіток безпеки [21], [26].

Перед початком роботи оператор повинен перевірити загальний стан змішувача, наявність і справність захисних кожухів, відсутність сторонніх предметів у бункері, справність пульта керування, аварійної кнопки «Стоп», заземлення електродвигуна, редуктора, вивантажувального транспортера, гідроциліндра дверцят і сигнальних пристроїв. Також перевіряють, чи не пошкоджені кабелі, чи немає витікання мастила з редуктора, чи вільний хід дверцят вивантаження та чи не заблоковано транспортер залишками корму [23], [26].

Завантаження кормів здійснюють тільки при справному обладнанні. Стеблові корми подають завантажувачем або іншим механізованим засобом, не допускаючи перебування працівника між завантажувачем і бункером. Комбікорм подається з бункера або дозатора без ручного підштовхування матеріалу до шнеків. Забороняється стояти на бортах змішувача, нахилитися всередину бункера, проштовхувати корм лопатою, вилами або руками під час обертання шнеків [21], [26].

Під час роботи змішувача оператор повинен знаходитися біля пульта керування або в іншому безпечному місці, з якого видно зону завантаження і розвантаження. Не допускається перебування сторонніх осіб у зоні дії завантажувача, транспортера та вивантажувального вікна. Відкривати оглядові

люки, решітки безпеки, захисні кожухи, а також виконувати очищення, регулювання ножів, контрножів або шнеків при ввімкненому приводі забороняється [21], [26].

У разі появи стороннього шуму, вібрації, запаху горілої ізоляції, іскріння, нерівномірного обертання шнеків, зупинки транспортера або заклинювання кормової маси змішувач необхідно негайно зупинити. Після зупинки слід вимкнути живлення на пульті, відключити автоматичний вимикач, дочекатися повної зупинки шнеків і тільки після цього оглядати машину. Повторний пуск дозволяється після встановлення причини несправності та її усунення [23], [26].

Очищення змішувальної камери, вивантажувального вікна, транспортерної стрічки, ножів і контрножів проводять лише після повного відключення електроживлення та унеможливлення випадкового пуску. На пульті керування вивішують табличку «Не вмикати - працюють люди». При роботі всередині бункера необхідно забезпечити нагляд другої особи, застосовувати стійку драбину або площадку, не використовувати нестійкі предмети та не спиратися на шнеки [23], [26].

Технічне обслуговування редуктора, електродвигуна, підшипникових вузлів і муфт виконується згідно з графіком. Мастило додають тільки після зупинки машини. Під час підтягування болтових з'єднань, заміни ножів або регулювання зазорів використовують справний інструмент, а різальні елементи фіксують від випадкового зміщення. Роботи з електрообладнанням виконує персонал, який має відповідну групу з електробезпеки [23], [26].

Після закінчення роботи змішувач очищають від залишків корму, транспортер і вивантажувальне вікно звільняють від налипань, пульт керування переводять у вимкнений стан, приміщення прибирають від пилу і просипів комбікорму. Зіпсовані або запліснявілі корми не допускаються до використання, оскільки вони погіршують санітарний стан приміщення і можуть бути небезпечними для тварин та працівників [21], [25].

Пожежна безпека ділянки забезпечується справністю електромережі, відсутністю відкритого вогню, заборонаю куріння, регулярним очищенням електродвигунів і світильників від пилу, наявністю первинних засобів пожежогасіння та вільного доступу до них. Сіно, солома, комбікорм і пил слід зберігати на відстані від нагрітих поверхонь, електрощитів і світильників. При виявленні загоряння роботу негайно припиняють, вимикають електроживлення, повідомляють відповідальних осіб і використовують наявні вогнегасники відповідно до інструкції [25].

Таблиця 4.2 - Карта контролю показників безпеки стаціонарного змішувача кормів

Показник контролю	Норма або вимога	Періодичність	Виконавець	Дія при відхиленні
Захисні кожухи приводу	Кожухи встановлені, кріплення справне	Перед зміною	Оператор	Зупинити роботу, закріпити або замінити кожух
Аварійна кнопка зупинки	Спрацьовує без затримки	Перед зміною	Оператор	Не запускати до усунення несправності
Заземлення електродвигуна	Наявне, без видимих пошкоджень	Щотижня, візуально - щозміни	Електрик	Відключити живлення, провести ремонт
Стан кабелів і пульта	Без оголених жил, тріщин, слідів нагрівання	Перед зміною	Оператор, електрик	Вивести з експлуатації до ремонту
Шнеки і ножі	Без деформацій, надійне кріплення ножів	Щоденно після зупинки	Оператор, слюсар	Закріпити, замінити пошкоджені елементи

Показник контролю	Норма або вимога	Періодичність	Виконавець	Дія при відхиленні
Вивантажувальні дверцята	Відкриваються і закриваються плавно	Перед запуском	Оператор	Очистити, відрегулювати, перевірити привід
Стрічковий транспортер	Стрічка натягнута, рух без перекосу	Перед зміною	Оператор	Зупинити, відрегулювати натяг і напрям
Запиленість робочої зони	Немає видимих хмар пилу, проводиться прибирання	Протягом зміни	Оператор	Увімкнути вентиляцію, прибрати просипи
Наявність ЗІЗ	Спецодяг, рукавиці, взуття, респіратор за потреби	Перед зміною	Оператор, відповідальний	Не допускати до роботи без ЗІЗ
Первинні засоби пожежогашіння	Доступні, пломби і терміни придатності в нормі	Щомісяця	Відповідальна особа	Замінити або перезарядити вогнегасник

Працівникам забороняється: запускати змішувач без огорожень; залишати працюючу машину без нагляду; виконувати ремонт при ввімкненому живленні; перебувати в зоні руху завантажувача; очищати бункер і шнеки руками; використовувати несправний інструмент; працювати з відкритими електричними шафами; блокувати аварійні вимикачі або знімати попереджувальні знаки. Ці вимоги повинні бути внесені до інструкції з охорони праці оператора змішувача кормів і перевірятися під час інструктажів [22], [26].

4.3 Висновки до розділу

У розділі визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час приготування кормів для ВРХ: рухомі шнеки і транспортери, електрична небезпека, пил сухих кормів, шум, пожежна небезпека та ризики під час завантаження й очищення обладнання.

Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів безпеки: допуск до роботи після навчання та інструктажу, застосування ЗІЗ, огороження рухомих частин, аварійне зупинення, контроль електрообладнання, механізоване завантаження кормів, регулярне прибирання пилу і залишків корму.

Для стаціонарного горизонтального змішувача кормів розроблено карту контролю показників безпеки, яка дозволяє систематизувати перевірку огорожень, приводу, шнеків, вивантажувальних дверцят, транспортера, ЗІЗ та засобів пожежогашіння.

Дотримання наведених вимог забезпечує зниження ризику травмування оператора, підвищує надійність роботи обладнання і створює безпечні умови для виконання технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі.

5 Техніко-економічна оцінка

Техніко-економічну оцінку виконано для визначення доцільності впровадження удосконаленого стаціонарного горизонтального змішувача кормів у технологічному процесі приготування кормосуміші для молочно-товарної ферми. Порівняння проведено для двох варіантів: базового, у якому використовується стаціонарний змішувач зі стандартною конструкцією шнеків, та удосконаленого, у якому застосовано модернізовані шнеки із зустрічним переміщенням кормової маси до центральної зони вивантаження, змінним кроком наливки та змінними ножовими елементами.

Економічна оцінка побудована за принципом порівняння експлуатаційних витрат за однакового річного обсягу виконаної роботи [27]. Для стаціонарного виконання прийнято електричний привід змішувача з редуктором і пускорегулювальною апаратурою, що відповідає конструктивній логіці стаціонарних горизонтальних змішувачів, які комплектуються електродвигуном, щитом керування, пристроями плавного пуску або інверторним керуванням [14].

Удосконалення не змінює загальну технологічну схему годівлі, але підвищує ефективність основної операції – змішування та підготовки повнораціонної кормосуміші. Очікуваний ефект формується за рахунок скорочення тривалості циклу змішування, зменшення питомої витрати електроенергії, зниження залишків корму в бункері, покращення рівномірності суміші та зменшення втрат, пов'язаних із вибіркоким поїданням компонентів раціону.

5.1 Вихідні дані

Вихідні дані прийнято для молочно-товарної ферми на 200 дійних корів зі шлейфом. При порівнянні варіантів прийнято однаковий річний обсяг приготування кормосуміші, однакові умови зберігання кормів, однакову тривалість роботи ферми протягом року та однакову організацію роздавання корму. Відмінність між варіантами полягає лише у конструкції робочих органів

змішувача та пов'язаних з цим показниках продуктивності, енерговитрат і якості змішування.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для техніко-економічної оцінки

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Поголів'я дійних корів	гол.	200	200
Наявність шлейфу	так/ні	так	так
Добова маса кормосуміші	т/добу	16,5	16,5
Річний обсяг приготування кормосуміші	т/рік	6 022,5	6 022,5
Тривалість роботи ферми	діб/рік	365	365
Місткість змішувача	м ³	12	12
Встановлена потужність приводу шнеків	кВт	30	27
Технологічна продуктивність змішувача	т/год	7,5	9,5
Середня тривалість одного циклу змішування	хв	22	17
Орієнтовна однорідність кормосуміші	%	88	94
Вартість електроенергії	грн/кВт·год	8,0	8,0
Середня тарифна ставка оператора	грн/год	170	170
Кількість операторів на лінії змішування	осіб	1	1
Середньорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт	грн/рік	180 000	170 000
Середня вартість кормової суміші	грн/т	2 900	2 900

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Оціночні втрати корму через нерівномірність змішування та залишки	%	3,0	2,2
Додаткові капітальні вкладення на удосконалення	грн	0	320 000
Прийнятий строк використання удосконалених робочих органів	років	-	7

5.2 Результати розрахунків економічних показників

Результати розрахунків економічних показників наведено без ходу розрахунків. До складу експлуатаційних витрат включено витрати на електроенергію, оплату праці оператора, технічне обслуговування і ремонт, а також вартісну оцінку втрат корму, які виникають через недостатню рівномірність суміші, залишки в робочій камері та вибіркове поїдання кормових компонентів тваринами. Порівняння виконано для базового та удосконаленого варіантів за однакової річної програми робіт.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків економічних показників

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Річний обсяг приготування кормосуміші, т/рік	6 022,5	6 022,5
Технологічна продуктивність змішувача, т/год	7,5	9,5
Річний час роботи змішувача, год/рік	803,0	634,0
Річні витрати електроенергії, кВт·год/рік	24 090	17 118
Витрати на електроенергію, грн/рік	192 720	136 944
Оплата праці оператора, грн/рік	136 510	107 780

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн/рік	180 000	170 000
Вартісна оцінка втрат корму, грн/рік	523 958	384 236
Загальні експлуатаційні витрати, грн/рік	1 033 188	798 960
Питомі експлуатаційні витрати, грн/т кормосуміші	171,55	132,66
Додаткові капітальні вкладення, грн	0	320 000
Річна економія експлуатаційних витрат, грн/рік	-	234 228
Річний економічний ефект з урахуванням амортизації удосконалення, грн/рік	-	188 514
Строк окупності додаткових вкладень, років	-	1,37
Зниження загальних експлуатаційних витрат, %	-	22,7
Підвищення технологічної продуктивності, %	-	26,7

Отримані результати показують, що впровадження удосконалених шнеків дає змогу зменшити річні експлуатаційні витрати на 234,2 тис. грн. Основними складовими економії є скорочення тривалості роботи змішувача, зменшення витрат електроенергії, зниження витрат на технічне обслуговування та зменшення втрат корму. Питомі експлуатаційні витрати знижуються з 171,56 до 132,66 грн/т кормосуміші, тобто на 38,90 грн/т.

За прийнятих вихідних даних додаткові капітальні вкладення на модернізацію становлять 320,0 тис. грн. Строк їх окупності становить 1,37 року, що є прийнятним для фермерського господарства та підтверджує доцільність впровадження удосконаленого робочого органа змішувача. Додатковою перевагою є стабільніша якість кормосуміші, що позитивно впливає на організацію годівлі технологічних груп тварин.

5.3 Висновки до розділу

У розділі виконано техніко-економічну оцінку модернізації стаціонарного горизонтального змішувача кормів. Порівняно базовий варіант зі стандартними шнеками та удосконалений варіант із модернізованими шнеками, які забезпечують активніше переміщення кормової маси до центральної зони вивантаження та підвищують рівномірність змішування.

Результати оцінки свідчать, що удосконалений варіант забезпечує підвищення технологічної продуктивності на 26,7 %, зниження річного часу роботи змішувача на 169 год та зменшення загальних експлуатаційних витрат на 22,7 %. Річна економія експлуатаційних витрат становить 234,2 тис. грн, а строк окупності додаткових капітальних вкладень – 1,37 року.

Отже, модернізація робочих органів стаціонарного змішувача кормів є економічно доцільною. Її впровадження дозволяє підвищити ефективність процесу приготування кормосуміші, знизити витрати на одиницю продукції та створити передумови для стабільнішого забезпечення тварин повнораціонним кормом.

Загальні висновки

У дипломній роботі розглянуто питання модернізації технологічного процесу приготування кормів на молочно-товарній фермі на 200 дійних корів зі шлейфом. Встановлено, що ефективність годівлі ВРХ значною мірою залежить від узгодженої роботи операцій зберігання, дозування, змішування та роздавання кормів.

Проведений аналіз сучасних автоматизованих систем годівлі показав доцільність використання стаціонарних кормозмішувальних установок, які забезпечують точне дозування компонентів, рівномірне змішування раціону та зменшення затрат ручної праці.

Розроблено технологічну схему приготування кормосуміші з використанням стаціонарного змішувача, завантажувача стеблових кормів, бункерів для комбікормів та лінії подачі готової суміші. Виконано розрахунок місткості сховищ для силосу, сінажу, сіна та комбікормів.

Запропоновано удосконалення конструкції стаціонарного горизонтального змішувача кормів шляхом зміни конструкції шнека. Удосконалена конструкція сприяє інтенсивнішому переміщенню кормових компонентів, покращенню однорідності суміші та зниженню залишків корму в робочій камері.

Виконані розрахунки конструкційно-технологічних параметрів підтвердили працездатність запропонованого технічного рішення. Підібрано основні параметри шнека, приводу та електродвигуна для забезпечення необхідної продуктивності змішувача.

Розглянуто вимоги охорони праці при приготуванні кормів і роботі зі стаціонарним змішувачем. Основну увагу приділено безпеці під час завантаження, змішування, розвантаження кормів, обслуговування приводу та очищення робочих органів.

Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження удосконаленого варіанта змішувача дозволяє зменшити питомі витрати праці, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність процесу приготування кормів на фермі.

Бібліографія

1. DeLaval. (n.d.). *DeLaval Optimat™ system*. <https://www.delaval.com/en-gb/farm-solutions/feeding/delaval-optimat/>
2. Tetra Laval. (2023, March 27). *DeLaval launches a new autonomous feeding robot*. <https://www.tetralaval.com/news/new-autonomous-feeding-robot>
3. DeLaval. (2007). *DeLaval mixer wagons: Optimal feeding systems* [Brochure]. <https://5.imimg.com/data5/SELLER/Doc/2024/11/466552754/NL/EP/BQ/108092631/feeding-solutions-tmr.pdf>
4. Lely. (n.d.). *Lely Vector automatic feeding system*. <https://www.lely.com/solutions/feeding/vector/>
5. GEA. (n.d.). *Feeding robot – GEA DairyFeed F4500*. <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/dairyfeed-feeding-systems/feeding-robot-dairyfeed-f4500/>
6. Trioliet. (n.d.). *Triomatic T20 feed storage for automatic feeding systems*. <https://www.trioliet.com/products/automatic-feeding-systems/feed-kitchens/feed-kitchen-with-stationary-feed-mixing-system-triomatic-t20>
7. Trioliet. (n.d.). *Triomatic feeding robot*. <https://www.trioliet.com/products/automatic-feeding-systems/feeding-robot>
8. Wasserbauer. (n.d.). *Shuttle Eco*. <https://wasserbauer.at/en/products/shuttle-eco>
9. DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2005). Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3553–3562. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X)
10. Phillips, C. J. C., & Rind, M. I. (2001). The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84(9), 1979–1987. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74641-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74641-3)

11. Mäntysaari, P., Khalili, H., & Sariola, J. (2006). Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4312–4320. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72478-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72478-X)
12. Penn State Extension. (2023). *Total mixed rations for dairy cows*. <https://extension.psu.edu/total-mixed-rations-for-dairy-cows>
13. DeLaval. (n.d.). *Stationary mixers: DeLaval horizontal stationary mixer HSM12*. <https://www.delaval.com/en-in/discover-farm-solutions/feeding/stationary-mixers/>
14. Storti S.p.A. (n.d.). *Stationary wagons: Stationary horizontal mixer wagons*. <https://storti.com/stationary-horizontal/>
15. Storti S.p.A. (n.d.). *Feed mixer wagons: Horizontal trailed mixers. Products range* [Catalogue]. <https://storti.com/>
16. Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2007). *Packing bunkers and piles to maximize forage preservation*. ASABE. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=22815>
17. KWS Manufacturing. (n.d.). *Screw conveyor engineering guide*. <https://www.kwsmfg.com/engineering-guides/screw-conveyor/>
18. Kase Conveyors. (n.d.). *Screw conveyor engineering guide: Horsepower calculation*. <https://www.kaseconveyors.com/resources/screw-conveyor-engineering-guide/horsepower-calculation/>
19. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th rev. ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
20. Верховна Рада України. (1992). *Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
21. Міністерство соціальної політики України. (2018). *Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: Наказ від 29.08.2018 № 1240*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>

22. Держнагляд охорони праці України. (2005). *Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: НПА ОП 0.00-4.12-05*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0231-05>
23. Міністерство праці України. (1998). *Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів: Наказ від 09.01.1998 № 4*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
24. Міністерство соціальної політики України. (2018). *Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці: Наказ від 29.11.2018 № 1804*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1494-18>
25. Міністерство внутрішніх справ України. (2014). *Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: Наказ від 30.12.2014 № 1417*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>
26. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. (2013). *Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: Наказ від 19.12.2013 № 966*. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0327-14>
27. Аулін, В. В., Лівіцький, О. М., & Замота, О. М. (2011). *Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві*. КНТУ.

Додатки

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

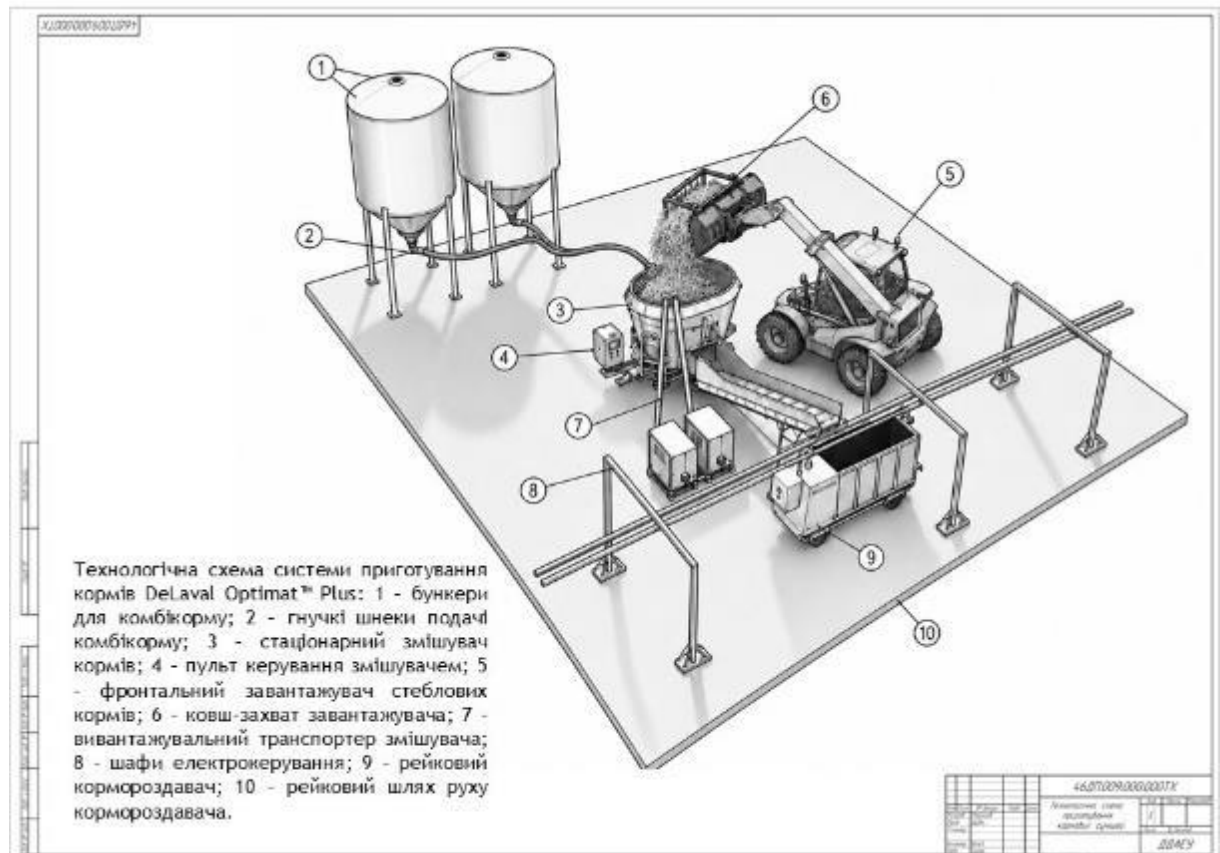
**Модернізація технологічного процесу приготування
кормів на молочно-товарній фермі**

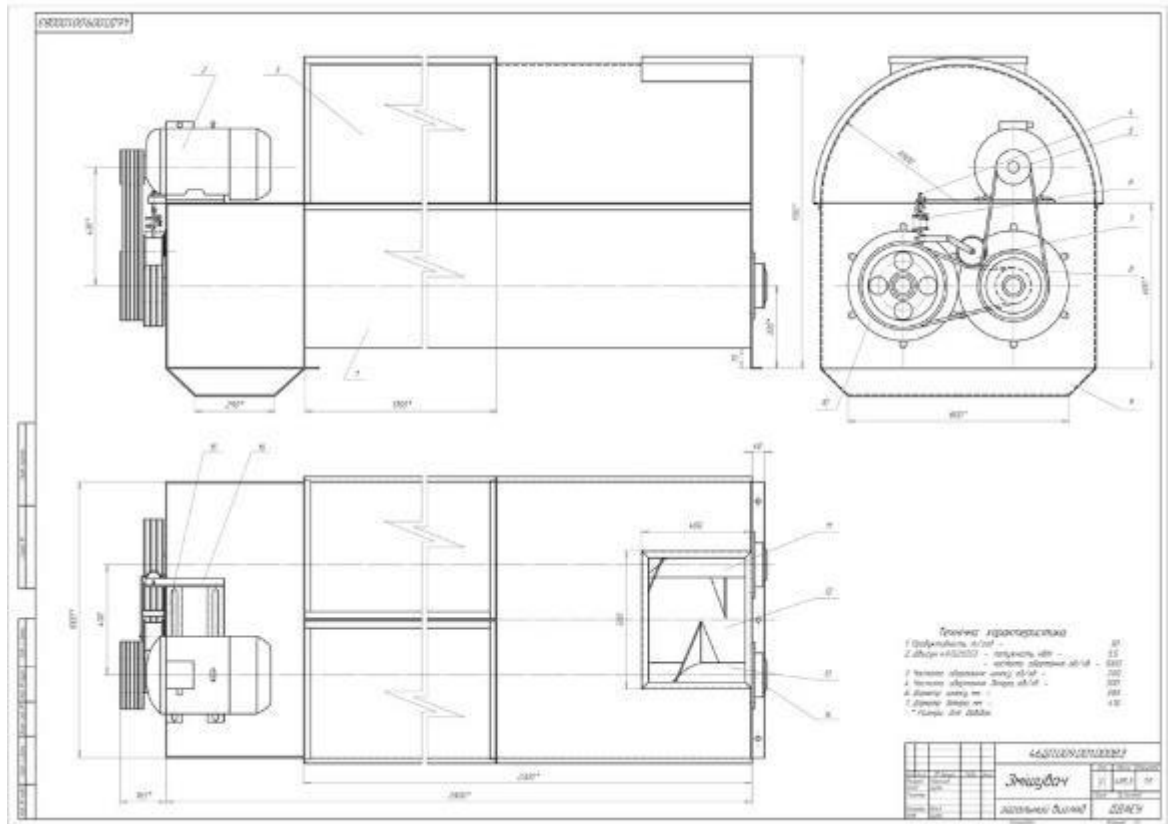
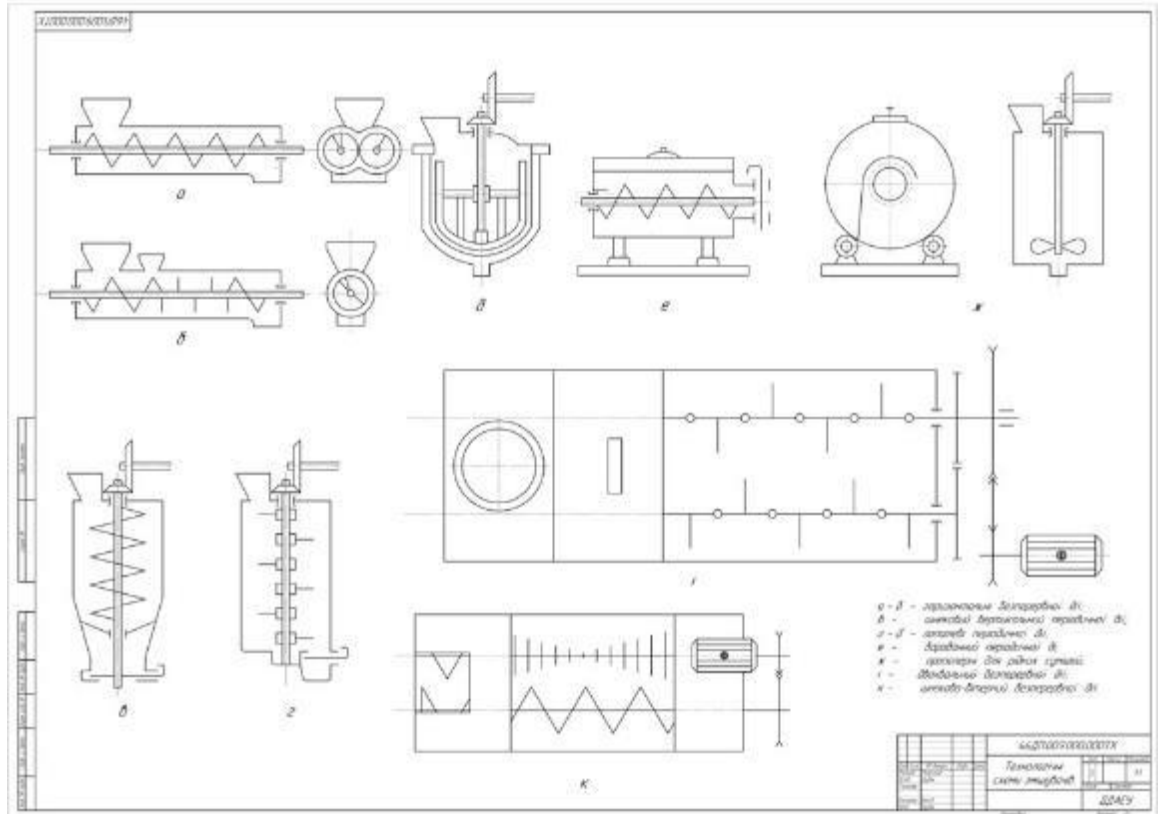
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

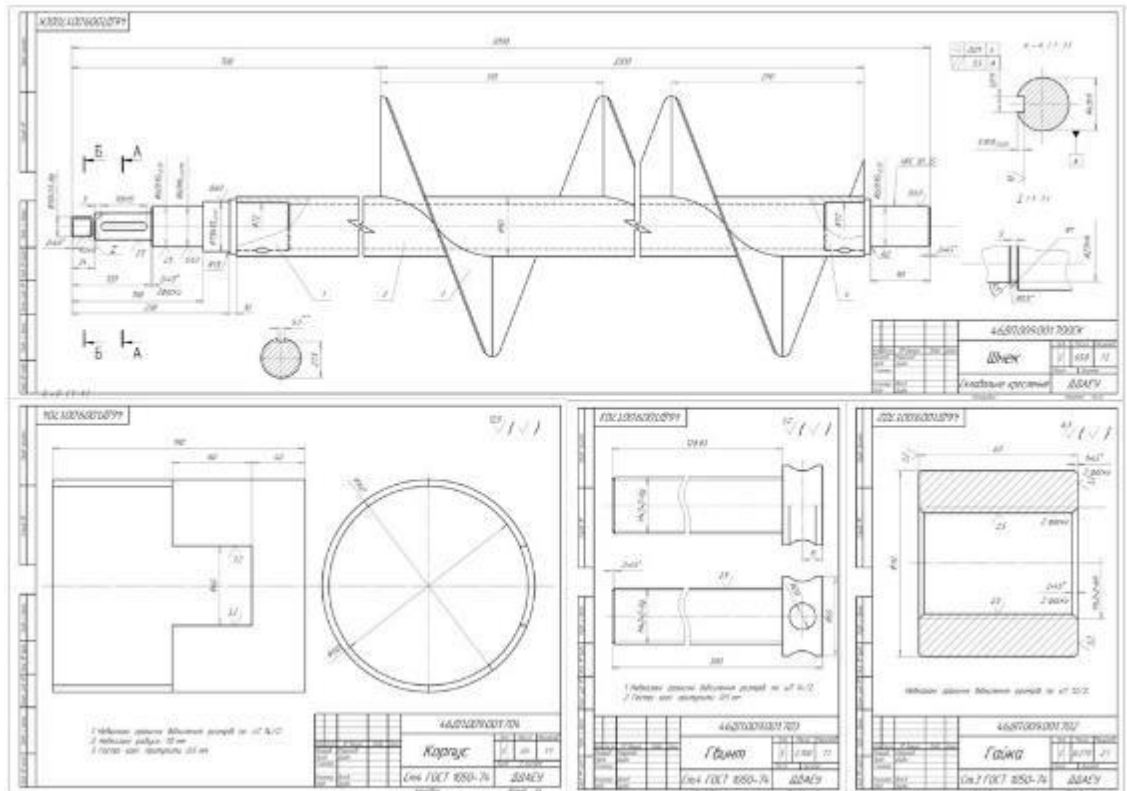
Виконав: студент 5 курсу, групи АІз-1-21
Морозов Дмитро Олександрович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2026







Карта контролю показників безпеки стаціонарного змішувача кормів				
Показник контролю	Норма або вимога	Періодичність	Виконавець	Дія при відхиленні
Захисні кожухи приводу	Кожухи встановлені, кріплення справне	Перед зміною	Оператор	Зупинити роботу, закріпити або замінити кожух
Аварійна кнопка зупинки	Спрацьовує без затримки	Перед зміною	Оператор	Не запускати до усунення несправності
Заземлення електродвигуна	Наявне, без видимих пошкоджень	Щотижня, візуально щозміни	Електрик	Відключити живлення, провести ремонт
Стан кабелів і пульту	Без оголених жил, тріщин, слідів нагрівання	Перед зміною	Оператор, електрик	Вивести з експлуатації до ремонту
Шнеки і ножі	Без деформацій, надійне кріплення ножів	Щоденно після зупинки	Оператор, слюсар	Закріпити, замінити пошкоджені елементи
Вивантажувальні дверцята	Відкриваються, закриваються плавно	Перед запуском	Оператор	Очистити, відрегулювати, перевірити привід
Стрічковий транспортер	Стрічка натягнута, рух без перекосу	Перед зміною	Оператор	Зупинити, відрегулювати натяг і напрям
Запиленість робочої зони	Немає видимих хмар пилу, проводиться прибирання	Протягом зміни	Оператор	Увімкнути вентиляцію, прибрати просипи
Наявність ЗІЗ	Спецодяг, рукавиці, взуття, респіратор за потреби	Перед зміною	Оператор, відповідальний	Не допускати до роботи без ЗІЗ
Первинні засоби пожежогасіння	Доступні, пломби і терміни придатності в нормі	Щомісяця	Відповідальна особа	Замінити або перезарядити вогнегасник

