



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Корчуну Володимиру Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Покращення процесу змішування кормів на тваринницьких фермах з модернізацією горизонтального лопатевого кормозмішувача

Керівник роботи Мартинюк Вікторія Валентинівна, PhD.

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

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної 11 червня 2026 року  
роботи

3. Вихідні дані до режим роботи та основні конструктивні й енергетичні  
роботи параметри горизонтального лопатевого кормозмішувача

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1. Сучасні підходи до організації повноцінної годівлі тварин та аналіз машин для кормоприготування. 2. Обґрунтування та розрахунок параметрів змішувально-транспортного обладнання кормоцеху 3. Проектування та обґрунтування конструктивних рішень горизонтально-лопатевого змішувача кормів

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точних зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1-2. Мета, предмет, об'єкт, завдання. 3. Принципова схема змішувача кормів.

4. План кормоцеху. 5. Вибір кінематичних та конструктивних параметрів шнекового транспортера готової кормосуміші в залежності від продуктивності. 6. Обґрунтування кінематичних параметрів гнучкого шнекового механізму. 7. Принципова технологічна схема стрічково-лопатевого змішувача кормових сумішей. 8. Лопатевий змішувач кормів. 9. Деталювання лопатевого змішувача кормів 10. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	Лазарюк В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання

28 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Сучасні підходи до організації повноцінної годівлі тварин та аналіз машин для кормоприготування	до 20.02.2026	
2	Обґрунтування та розрахунок параметрів змішувально-транспортного обладнання кормоцеху	до 31.03.2026	
3	Проектування та обґрунтування конструктивних рішень горизонтально-лопатевого змішувача кормів	до 08.12.2025	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 30.04.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 12.05.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 10.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Корчун В.М.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Мартинюк В.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Корчун Володимир Михайлович

**Тема роботи** – «Покращення процесу змішування кормів на тваринницьких фермах з модернізацією горизонтального лопатевого кормозмішувача». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Мартинюк Вікторія Валентинівна, доктор філософії, старший викладач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (25 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 67 сторінки на яких є 16 рисунків.

**Актуальність теми роботи:** визначається сучасними тенденціями розвитку тваринницької галузі, що передбачають підвищення продуктивності виробництва за рахунок удосконалення технологічних процесів приготування кормів та впровадження енергоощадних технічних рішень. Важливим чинником забезпечення ефективності годівлі є отримання однорідних кормових сумішей, які сприяють рівномірному надходженню поживних речовин до організму тварин та забезпечують підвищення засвоюваності кормів.

Якість змішування компонентів безпосередньо впливає на продуктивність тварин, собівартість продукції та економічні показники господарств. Недостатня рівномірність розподілу складових кормових сумішей призводить до порушення збалансованості раціонів, перевитрат кормових ресурсів, зниження ефективності використання біологічно активних добавок і погіршення технологічних показників виробництва.

Аналіз існуючих конструкцій горизонтальних лопатевих кормозмішувачів свідчить, що вони не завжди забезпечують необхідний

ступінь однорідності суміші, особливо під час змішування компонентів із різними фізико-механічними характеристиками. Крім того, актуальними залишаються питання зменшення енерговитрат, підвищення продуктивності та вдосконалення конструктивних параметрів змішувальних робочих органів.

У зв'язку з цим наукове обґрунтування та розроблення конструктивних рішень щодо модернізації горизонтального лопатевого кормозмішувача, спрямованих на підвищення інтенсивності перемішування, забезпечення необхідної однорідності кормової суміші та покращення енергетичних і експлуатаційних показників обладнання, є актуальним науково-технічним завданням.

**Мета роботи:** підвищення ефективності процесу змішування кормів шляхом модернізації конструкції горизонтального лопатевого кормозмішувача та обґрунтування його раціональних геометричних параметрів і режимів роботи, що забезпечують покращення однорідності суміші та зниження енерговитрат.

**Завдання:**

1. Проаналізувати чинники, що впливають на ефективність процесу змішування кормів у горизонтальних лопатевих змішувачах.
2. Дослідити сучасні конструкції горизонтальних лопатевих кормозмішувачів і їхні геометричні параметри.
3. Визначити режимні параметри роботи змішувача, що впливають на однорідність суміші та енерговитрати.
4. Розробити та обґрунтувати модернізовану конструкцію горизонтального лопатевого кормозмішувача.

**Об'єкт дослідження:** процес змішування кормових компонентів у горизонтальному лопатевому кормозмішувачі на тваринницьких фермах.

**Предмет дослідження:** конструктивні та технологічні параметри горизонтального лопатевого кормозмішувача, а також закономірності процесу змішування кормових компонентів.

**Методи дослідження:** у роботі використано аналітичні, розрахункові та порівняльні методи дослідження, а також елементи математичного моделювання процесу змішування кормів і аналіз конструктивних параметрів кормозмішувача з метою обґрунтування його модернізації.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції горизонтальних лопатевих кормозмішувачів та впровадження ефективніших режимів їх роботи на тваринницьких фермах. Запропоновані технічні рішення сприяють підвищенню однорідності кормових сумішей, зниженню енерговитрат і скороченню тривалості процесу змішування.

Практична реалізація результатів дозволяє підвищити продуктивність обладнання, покращити якість кормів і, як наслідок, збільшити ефективність виробництва у тваринництві.

**Ключові слова:** кормозмішувач, горизонтальний лопатевий змішувач, однорідність суміші, модернізація, продуктивність, енергоефективність, технологічні параметри, тваринницька ферма.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВНОЦІННОЇ ГОДІВЛІ ТВАРИН ТА АНАЛІЗ МАШИН ДЛЯ КОРМОПРИГОТУВАННЯ</b> .....	10
1.1. Ключові чинники забезпечення повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин та основні вимоги до кормової бази .....	10
1.2. Аналіз і класифікація машин та обладнання для змішування кормів .....	19
<b>2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ</b> .....	27
2.1. Визначення добової потреби кормів і продуктивності змішувальної лінії .	27
2.2. Вибір і розрахунок геометричних параметрів та режимів роботи шнекового транспортного механізму .....	30
2.3. Силовий розрахунок шнекового механізму .....	33
2.4. Розрахунок кінематичних і геометричних параметрів механізмів відкачування та транспортування сировини .....	35
<b>3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ</b> .....	38
3.1. Аналіз закономірностей процесу змішування кормів .....	38
3.2. Принципова технологічна схема стрічково-лопатевого змішувача кормових сумішей.....	44
3.3. Аналітичне дослідження параметрів лопатевого змішувача.....	47
3.4. Конструктивний розрахунок горизонтально-лопатевого змішувача кормових сумішей .....	50
3.5. Розрахунок силових навантажень і потужності приводу горизонтально-лопатевого змішувача кормів.....	51
3.6. Кінематичний розрахунок горизонтально-лопатевого змішувача кормів ..	54
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b> .....	55
4.1. Загальні положення з охорони праці на тваринницьких фермах .....	55
4.2. Організаційні заходи з охорони праці .....	56
4.3. Ідентифікація небезпек і факторів ризику .....	60
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	64
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	65
<b>ДОДАТКИ</b> .....	68

## ВСТУП

Ефективність сучасного тваринницького виробництва значною мірою залежить від рівня організації повноцінної та збалансованої годівлі сільськогосподарських тварин, що безпосередньо визначає їх продуктивність, фізіологічний стан та економічну ефективність функціонування господарств. Одним із ключових чинників забезпечення високої якості годівлі є кормова база, а також технологічна якість приготування кормових сумішей, яка визначається ступенем їх однорідності, фізико-механічними властивостями компонентів, поживною цінністю та вологістю.

Недостатній рівень рівномірності розподілу компонентів у кормових сумішах призводить до порушення збалансованості раціонів, зниження коефіцієнта засвоєння поживних речовин, перевитрат кормових ресурсів і, як наслідок, зменшення продуктивності тварин. Це обумовлює необхідність удосконалення існуючих технологічних процесів приготування кормів та підвищення ефективності роботи змішувального обладнання.

Сучасні кормозмішувальні машини представлені різними конструктивними схемами, серед яких широке застосування отримали горизонтальні лопатеві та стрічково-лопатеві змішувачі, здатні ефективно працювати з компонентами різної насипної щільності та вологості. Водночас аналіз їх експлуатаційних характеристик свідчить, що існуючі конструкції не завжди забезпечують необхідний рівень однорідності суміші при оптимальних енергетичних витратах, що актуалізує питання їх модернізації та оптимізації режимів роботи.

Дослідження закономірностей процесу змішування кормів дозволяє встановити основні фактори, що визначають якість сумішоутворення, та на їх основі обґрунтувати раціональні конструктивні і технологічні параметри змішувального обладнання. Це створює передумови для підвищення

продуктивності кормозмішувачів, зниження енергоємності процесу та покращення техніко-економічних показників тваринницького виробництва.

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу підвищення якості приготування кормових сумішей та оптимізація відповідних технологічних процесів набувають особливої актуальності, оскільки сприяють більш раціональному використанню ресурсів, підвищенню продуктивності тварин і загальній економічній ефективності виробництва.

# **1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВНОЦІННОЇ ГОДІВЛІ ТВАРИН ТА АНАЛІЗ МАШИН ДЛЯ КОРМОПРИГОТУВАННЯ**

## **1.1. Ключові чинники забезпечення повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин та основні вимоги до кормової бази**

Годівля сільськогосподарських тварин є важливою складовою ефективного ведення тваринництва, оскільки забезпечує тварин необхідними поживними речовинами відповідно до їх вікових особливостей, фізіологічного стану, рівня розвитку та продуктивності. Повноцінне й збалансоване живлення сприяє зміцненню здоров'я тварин, їх нормальному росту, розвитку та підвищенню продуктивних показників.

Важливе значення має правильний підбір кормів, оцінка їх поживної цінності та забезпечення оптимальної потреби тварин у поживних і біологічно активних речовинах. Не менш важливими є умови заготівлі, зберігання, підготовки та раціонального використання кормових ресурсів. Особливу увагу приділяють нормуванню годівлі, складанню збалансованих раціонів, а також організації процесу згодовування кормів із урахуванням сучасних технологічних вимог [9;10].

У практичних умовах господарювання годівля розглядається як безперервний виробничий процес, спрямований на забезпечення тварин необхідними поживними речовинами за рахунок раціонального використання кормів. Основу повноцінної годівлі становить наявність повного комплексу незамінних поживних елементів і їх надходження до організму тварин у оптимальних кількісних співвідношеннях та у відповідний час. Раціони повинні бути збалансованими за значною кількістю нормованих показників: для великої рогатої худоби – приблизно за 20 параметрами, а для свиней і птиці – за 50-80 показниками. Зі зростанням рівня інтенсифікації тваринницького виробництва кількість контрольованих показників істотно збільшується [9;13].

Інтенсивний розвиток галузі тваринництва неможливий без повноцінної годівлі, яка забезпечується достатнім виробництвом кормів, мінімізацією втрат їх поживної цінності під час заготівлі та зберігання, а також правильною технологічною підготовкою кормів до згодовування. Виробництво продукції тваринництва є складною біотехнічною системою, у якій тварина виступає основним засобом виробництва, що шляхом біологічних процесів перетворює кормову сировину на високоякісні продукти харчування.

Для годівлі сільськогосподарських тварин використовують корми рослинного й тваринного походження, а також мінеральні та синтетичні добавки, здатні засвоюватися організмом і трансформуватися у продукцію харчового призначення або сировину для харчової промисловості. Корми забезпечують тварин поживними речовинами, необхідними для підтримання життєвих функцій організму та формування продуктивності [11;14].

Як вид сировини, корми повинні відповідати низці обов'язкових вимог. Вони мають містити поживні речовини у формі, доступній для перетравлення і засвоєння, не чинити шкідливого впливу на організм тварин і не погіршувати якісні показники одержуваної продукції. За своїми фізичними та хімічними властивостями корми повинні відповідати анатомо-фізіологічним особливостям тварин.

У кормах не допускається наявність токсичних, отруйних та інших небезпечних речовин, а також компонентів, здатних змінювати природні властивості продукції, зокрема її смак, запах або забарвлення. Корми мають бути вільними від забруднення ґрунтом, паливно-мастильними матеріалами, радіоактивними елементами та сторонніми домішками, особливо металевими включеннями, і відповідати допустимим нормам вмісту нітратів та нітритів. Також недопустимою є присутність у кормах біологічних або хімічних препаратів, зокрема стимуляторів росту, які можуть негативно впливати на здоров'я людини при надходженні з продуктами харчування [16].

Сучасна система класифікації кормів базується передусім на їх походженні та ключових поживно-біологічних характеристиках. Залежно від джерела отримання всі корми поділяють на три основні групи: корми рослинного походження, корми тваринного походження та корми промислового виробництва. За функціональними властивостями та поживністю корми класифікують на грубі, соковиті, концентровані, а також рибні, м'ясні, молочні, комбіновані корми, кормові добавки й харчові відходи. Найбільшу частку в структурі кормової бази займають корми рослинного походження [9;16].

Грубі корми характеризуються підвищеним умістом сирової клітковини та відносно невисокою енергетичною цінністю, однак вони є обов'язковим компонентом раціонів жуйних тварин. Заготівля грубих кормів здійснюється у розсипному або пресованому вигляді. Відходи рослинництва (стебла кукурудзи, бадилля та інші) широко використовують для силосування. З побічної продукції лісової галузі отримують хвойне борошно, яке застосовують як специфічний вид кормової добавки. Вибір способу заготівлі визначається біологічними особливостями кормової сировини, її призначенням, а також економічною доцільністю витрат праці та енергії на зберігання [9].

Сіно виробляють із сіяних та природних трав шляхом сушіння до кондиційної вологості в польових умовах із підв'ялюванням. Для розсипного подрібненого сіна допустима вологість становить 40-45 %, для пресованого у тюки – 30-35 %, після чого масу досушують методом активного вентилявання.

Солома є побічним продуктом зернового виробництва та використовується як сировина для одержання енергетичних кормів. У виробничій практиці застосовують збирання соломи у цільному вигляді, із подрібненням або з наступним пресуванням. Оптимальна вологість соломи при зберіганні повинна становити 18-20 % [17].

Сінаж являє собою консервований зелений корм, отриманий шляхом підв'ялювання і герметичного зберігання. Його заготовляють переважно з

багаторічних і однорічних бобових та злакових культур або їх сумішей, попередньо підв'ялених до вологості 45-50 %. Сінаж закладають у наземні або баштові герметичні сховища, а процес консервації завершується через 20-30 діб із втратами поживних речовин на рівні 8-12 %.

Силос – це зелений корм, законсервований біологічним способом. До силосної сировини належать трави природних і культурних угідь, кукурудза у фазі молочної стиглості, люпин, гичка буряків та інші культури з високою здатністю до силосування. Качани кукурудзи з підвищеною вологістю, а також вологе фуражне зерно заготовляють шляхом силосування із застосуванням або без застосування хімічних консервантів [9;17].

Вітамінне трав'яне борошно є продуктом штучного сушіння подрібненої зеленої маси та відзначається високим вмістом біологічно активних речовин. Його отримують переважно з люцерни, конюшини, гороху, вики, кормових бобів і травосумішей. З метою покращення умов зберігання, транспортування та підвищення засвоюваності поживних речовин трав'яне борошно піддають гранулюванню або брикетуванню.

Коренебульбоплоди використовують у годівлі у свіжому, зневодненому, силосованому або запареному вигляді. Вміст сухої речовини у цукрових буряках і картоплі досягає 25 %, при цьому основну її частку становлять відповідно цукри та крохмаль. Кормові буряки містять 10-12 % сухої речовини. Включення коренеплодів до раціонів великої рогатої худоби, особливо в період стійлового утримання, сприяє підвищенню перетравності грубих кормів і стимулює молочну продуктивність. Зберігають коренеплоди у тимчасових або стаціонарних сховищах із застосуванням активного вентилявання при відносній вологості повітря не вище 70-72 % [17].

До зернових кормів належать зерна злакових і зернобобових культур, а також побічна продукція мукомельної промисловості. Вологе фуражне зерно підвищеної вологості консервують шляхом хімічної обробки азотовмісними сполуками, отримуючи висококонцентрований корм для тваринництва [15].

Важливе значення мають відходи переробної промисловості, зокрема жом, меляса, барда, пивна дробина, макуха, шрот та інші. Корми тваринного походження відзначаються високим вмістом повноцінного протеїну, мінеральних елементів і вітамінів та використовуються переважно у годівлі молодняку, свиней, хутрових звірів і птиці [17].

До мінеральних кормів відносять кухонну сіль, крейду, черепашник і кісткове борошно. Синтетичні корми представлені сечовиною, обезфтореними фосфатами, амінокислотами та іншими сполуками. У кормовій практиці також використовують належним чином підготовлені харчові відходи.

Комбіновані корми – це сухі концентровані суміші, виготовлені на основі подрібненого зерна з додаванням білково-мінерально-вітамінних компонентів, преміксів, кормових дріжджів та амінокислот. Для годівлі молодняку широко застосовують рідкі кормові суміші – замітники цільного молока, основу яких складають відвійки з додаванням жирів, вітамінів і мікроелементів [9].

За енергетичною цінністю та впливом на процеси травлення корми поділяють на об'ємні та концентровані. До об'ємних належать корми з низьким вмістом перетравних речовин і кормових одиниць, зокрема грубі, соковиті корми та водянисті відходи переробних виробництв. Концентровані корми характеризуються високою поживністю і представлені переважно зерновими та комбікормами.

Якість кормів оцінюють за органолептичними та хімічними показниками відповідно до вимог державних стандартів. Силос, сінаж, сіно та трав'яне борошно поділяють на перший, другий і третій класи. Використання різноманітних, доброякісних кормів у раціонах є необхідною умовою повноцінної годівлі та високого рівня засвоєння поживних речовин.

Господарська цінність кормів визначається їх поживністю, дієтичними властивостями та собівартістю, розрахованою на одну кормову одиницю. Основним показником поживної цінності є вміст і якість протеїну, включаючи білкові та небілкові азотисті сполуки [16].

Корми, призначені для згодовування сільськогосподарським тваринам, повинні відповідати встановленим зоотехнічним вимогам, що регламентуються державними стандартами та технічними умовами. Для приведення різних видів кормової сировини до нормативних показників застосовують спеціальні способи технологічної обробки. Залежно від виду енергії, яка використовується в технологічному процесі, методи підготовки кормів поділяють на механічні, теплові, біологічні, хімічні, електричні та комбіновані.

Підготовка кормів до згодовування передбачає виконання комплексу технологічних операцій, серед яких основними є очищення, миття, подрібнення, запарювання та інші. Зазначені операції не лише покращують органолептичні властивості кормів, а й підвищують рівень їх перетравності та засвоєння поживних речовин організмом тварин. Формування повнораціонних кормових сумішей досягається шляхом включення до технологічного процесу механізованих операцій дозування, змішування, гранулювання та брикетування [9;16;17].

Загальна технологія обробки й приготування кормів визначається конкретними умовами господарства, видом і призначенням кормів, зоотехнічними вимогами, а також економічною доцільністю застосування того чи іншого способу обробки. При цьому кількість задіяних машин і механізмів має бути мінімальною, але достатньою для забезпечення безперервного технологічного процесу та дотримання затвердженої технологічної схеми [7].

У тваринництві для годівлі використовують грубі, соковиті та концентровані корми, сіно і трав'яне борошно, комбікорми, карбамідні концентрати, а також різноманітні збагачувальні добавки. З метою забезпечення комплексної механізації процесу приготування кормів у кормоцехах формують потокові технологічні лінії, які складаються з машин і обладнання, адаптованих до обробки відповідних видів кормової сировини.

До грубих кормів відносять сіно, солому, очерет, полову, стебла кукурудзи, лущиння насіння та інші матеріали. Оскільки вміст

важкоперетравної клітковини в них може досягати 40 %, без попередньої підготовки такі корми характеризуються низькою поїданнєм. Для покращення споживання і засвоюваності грубі корми піддають подрібненню, а також тепловій або комбінованій обробці [9].

Механічна обробка кормів включає очищення, подрібнення, дозування, змішування, пресування та транспортування. У результаті механічного впливу змінюються фізико-механічні, технологічні та дієтичні властивості кормів, оптимізується їх гранулометричний склад і зменшуються енерговитрати тварин на розжовування кормової маси [8].

Термічна обробка передбачає нагрівання, запарювання, варіння, сушіння, підсмажування, пастеризацію, охолодження або заморожування кормів. Під дією високих або низьких температур активізуються чи сповільнюються фізичні, хімічні та біологічні процеси, що може істотно підвищувати поживну цінність кормів, зменшувати втрати поживних речовин та уповільнювати процеси псування під час зберігання.

Хімічна обробка кормів полягає у застосуванні різних реагентів, зокрема лугів, кислот, аміаку (амонізація), вапняних матеріалів та інших речовин. Такий вплив дозволяє підвищити перетравність, поживну та дієтичну цінність кормів, особливо грубих і низькоякісних.

Біологічні методи обробки ґрунтуються на використанні мікро- та макроорганізмів, які у процесі життєдіяльності перетворюють поживні речовини корму у доступніші для засвоєння форми та додатково збагачують його білком і біологічно активними компонентами. До таких способів належать силосування, заквашування, дріжджування та пророщування [17].

Електричні способи підготовки кормів передбачають застосування електричної енергії для сортування, подрібнення та обробки кормової сировини інфрачервоним або ультрафіолетовим випромінюванням, що дозволяє поліпшити санітарний стан кормів і підвищити ефективність їх використання у годівлі.

Технологія приготування кормів являє собою впорядковану систему та послідовність методів і технічних засобів обробки кормової сировини, спрямованих на отримання продуктів, повністю придатних для згодовування тваринам. Вона охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій, що забезпечують зміну фізичних, хімічних і біологічних властивостей вихідної сировини відповідно до зоотехнічних вимог [7].

Процес кормоприготування полягає у виконанні окремих технологічних операцій, у результаті яких кормова сировина набуває нових споживчих і поживних характеристик, що підвищують ефективність її використання у годівлі. Обладнання, призначене для реалізації зазначених операцій, відноситься до технологічних машин кормоприготування.

Загальна класифікація технологій кормоприготування наведена на рисунку 1.1.

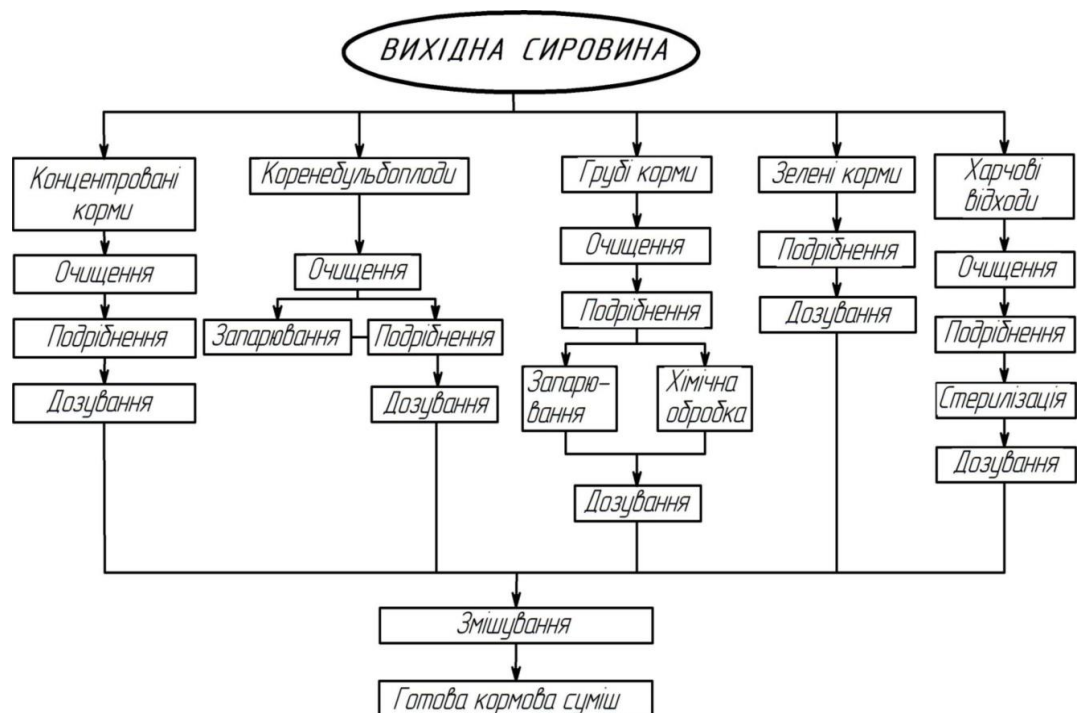


Рисунок 1.1 – Типові технологічні схеми підготовки основних кормових компонентів до згодовування

Для забезпечення переміщення об'єкта обробки між окремими машинами, його перевантаження або подачі у наступні ланки технологічного

ланцюга застосовують допоміжне обладнання. Використання таких технічних засобів забезпечує потоковість і безперервність виробничого процесу, а також дозволяє мінімізувати або повністю усунути застосування ручної праці [10].

Слід зазначити, що з усього спектра можливих заходів підготовки кормів у практиці тваринництва застосовуються лише ті, які характеризуються достатньою технологічною ефективністю та економічною доцільністю. Методи, що відзначаються високою складністю реалізації, потребують надмірних енергетичних витрат або використання складного й дорогого обладнання, як правило, широкого застосування не знаходять.

Вибір технології приготування кормів визначається складом наявної кормової сировини та її якісними показниками, біологічними особливостями тварин (вид, вік, фізіологічний стан), а також прийнятою у господарстві системою годівлі. Сукупність цих чинників обумовлює доцільність застосування конкретних технологічних операцій і технічних засобів кормоприготування [10].

Для більшості видів кормів практикою тваринництва встановлено раціональні технологічні прийоми, серед яких основними є очищення та подрібнення кормової маси. У разі приготування кормових сумішей обов'язковими операціями є точне дозування окремих компонентів і їх ретельне змішування з метою забезпечення однорідності та збалансованості раціону.

З метою підвищення рівня інтенсифікації тваринництва дедалі ширше застосовують монокорми, які використовують замість традиційних багатоконпонентних раціонів із додаванням необхідних кормових добавок. Технологічний процес приготування монокормів передбачає скошування рослин у фазі максимального накопичення поживних речовин – бутонізації та початку цвітіння трав або молочно-воскової стиглості зерна. Після збирання кормову масу піддають сушінню у спеціалізованих сушильних агрегатах, подрібнюють до стану січки або борошна, збагачують білковими, мінеральними та біологічно активними компонентами, а надалі гранулюють або брикетують.

Застосування монокормів має низку суттєвих переваг, зокрема:

- поєднання процесів кормовиробництва та підготовки кормів до згодовування в єдиному технологічному циклі, що дає змогу здійснювати заготівлю у заздалегідь визначені оптимальні строки незалежно від погодних умов;

- значне підвищення виходу поживних речовин з одиниці посівної площі та зменшення їх втрат у процесі зберігання;

- спрощення механізації та автоматизації операцій приготування, зберігання і роздавання кормів із забезпеченням повної механізації всього виробничого ланцюга – від збирання кормової сировини до безпосередньої годівлі тварин;

- відсутність потреби у використанні різнотипних кормосховищ і складних технічних засобів для зберігання окремих компонентів [9].

## **1.2. Аналіз і класифікація машин та обладнання для змішування кормів**

У системі функціонування механізованих кормоцехів підвищення ефективності та якості приготування повнораціонних кормових сумішей, а також удосконалення традиційних технологій і процесів змішування різнорідних кормів, поживних компонентів і мікро- та макродобавок у змішувачах становить значний науковий і практичний інтерес. Розв'язання цієї проблеми забезпечується проведенням фундаментальних і прикладних досліджень у різних галузях народного господарства [7;9].

Процеси змішування кормів реалізуються з використанням широкого спектра змішувальних машин, які відрізняються, як конструктивним виконанням, так і характером взаємодії робочих органів із кормовою

сировиною (рис. 1.2). Узагальнений аналіз експлуатації механізованих стаціонарних і пересувних кормоцехів, призначених для змішування малосипучих і несипучих кормів, свідчить, що найбільш поширеними є шнекові, стрічкові, гвинтові, лопатеві та комбіновані мішалки [8;9].

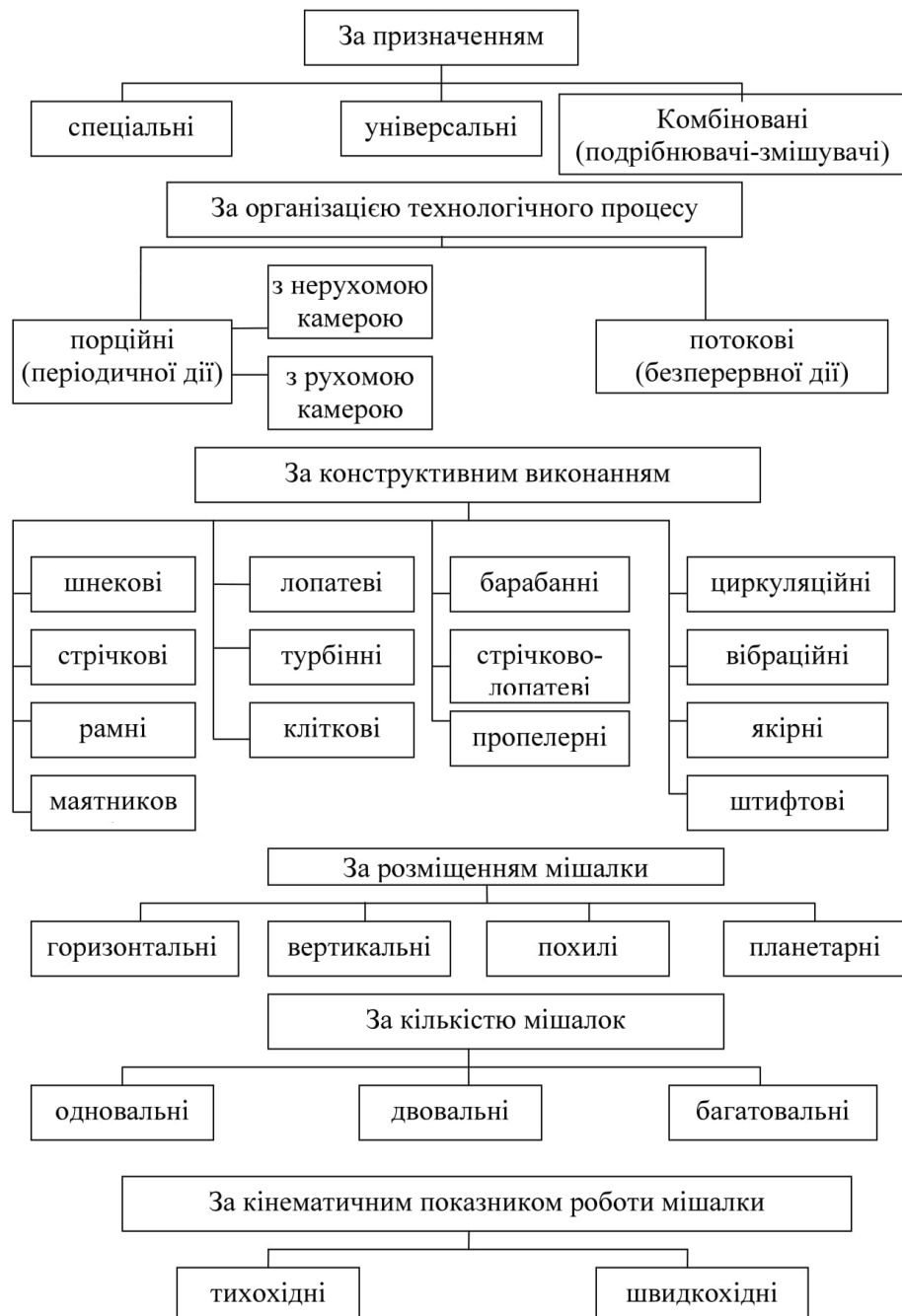
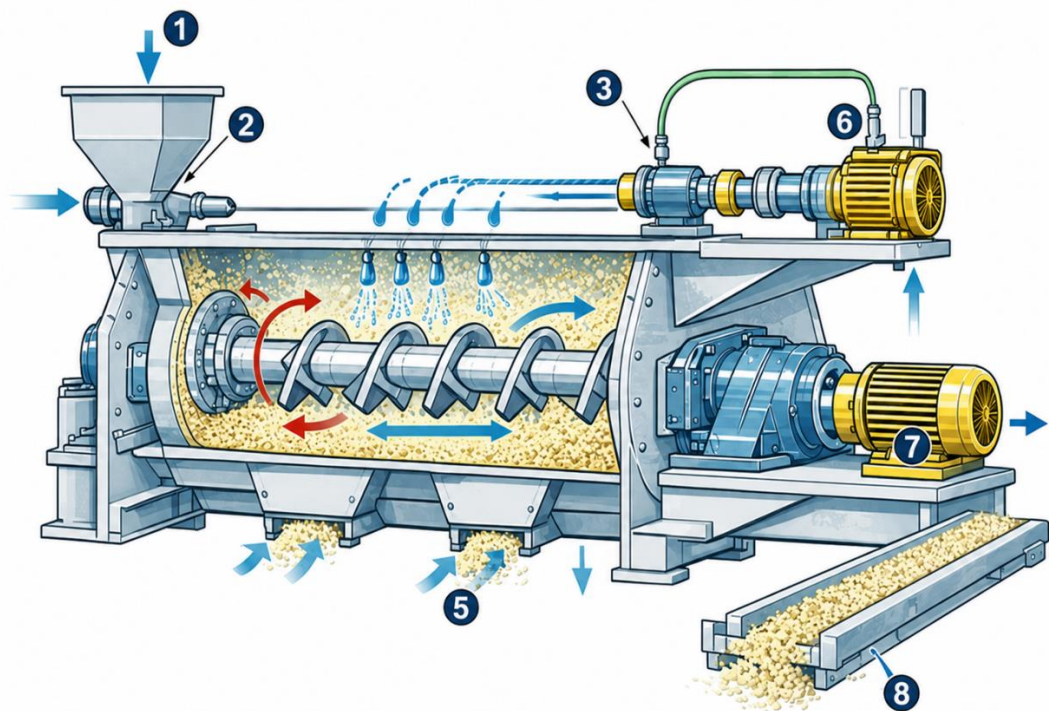


Рисунок 1.2 – Загальна класифікація машин для змішування кормових сумішей

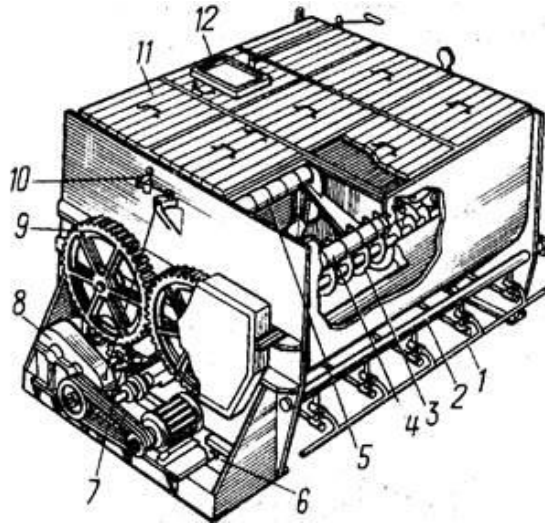
Зазначені типи змішувачів характеризуються різною конструкцією, організацією технологічного процесу та кінематикою руху робочих органів. Водночас у практиці їх використання часто спостерігається недостатнє обґрунтування раціональних конструктивних і кінематичних параметрів, режимів роботи та показників якості змішування традиційних кормозмішувальних машин, що знижує ефективність процесу приготування кормових сумішей [8].

Грубі корми для годівлі великої рогатої худоби та свиней, як правило, готують у запарниках-змішувачах типу С-7 і С-12А (рис. 1.3). Підготовку картоплі здійснюють у запарниках АКС-Ф-3 та АЗК-3, а харчові відходи, призначені для годівлі свиней, обробляють у запарниках-змішувачах типу ЗС-6.



1 – бункер завантаження; 2 – патрубок рідких добавок; 3 – робоча камера;  
4 – робочі органи змішування; 5 – привід мішалки; 6 – привід подачі рідких  
добавок; 7 – люк вивантаження кормосумішей.

Рисунок 1.3 – Принципова схема змішувача кормів



1 – система керування паророзподільними кранами; 2 – паророзподільчий пристрій; 3 – вивантажувальні шнекові механізми; 4, 5 – лопатеві мішальні органи; 6 – пристрій натягу пасової передачі; 7 – механізм натягу ланцюгової передачі; 8 – редуктор; 9 – зубчасте колесо; 10 – система керування шнеком і засувкою; 11 – пульт (щит) керування; 12 – кришка корпусу.

Рисунок 1.4 – Конструктивна схема запарника-змішувача кормів

Типовий запарник-змішувач кормів (рис. 1.4) призначений для приготування кормових сумішей з вологістю 65-80 % із сирих або попередньо запарених кормів для великої рогатої худоби, свиней і птиці. Робочий об'єм запарника-змішувача (12 м<sup>3</sup>) забезпечує можливість не лише теплової обробки та перемішування соковитих кормів, а й приготування сумішей із подрібнених грубих кормів [11;13].

Пара надходить у запарник-змішувач з двох боків у нижній частині корпусу від двох паророзподільників, оснащених п'ятьма муфтовими кранами. Крани з'єднані з паророзподільниками патрубками, один кінець яких вварений у днище змішувача, а на іншому передбачено заглушку, необхідну для виконання очисних робіт. Синхронне відкривання та закривання кранів забезпечується загальною тягою, якою вони взаємопов'язані. Під'єднання запарника до парової магістралі здійснюється за допомогою парового колектора з приєднувальним фланцем, розташованим з боку вивантажувальної горловини. Контроль тиску пари в процесі запарювання здійснюється манометром, установленим на паровій магістралі.

Змішувальний робочий орган складається з двох лопатевих мішалок, та вивантажувального шнека. Мішалки обертаються у протилежних напрямках: права мішалка – за годинниковою стрілкою (якщо дивитися з боку приводу) і спрямовує кормову масу у бік приводу, ліва мішалка – проти годинникової стрілки, переміщуючи корм у напрямку вивантажувальної горловини. Інтенсивне перемішування забезпечується поєднанням обертального руху кормової маси в площині лопатей з одночасним осьовим переміщенням [13].

Обидві мішалки, приводяться в дію від одного електродвигуна через клинопасову передачу, редуктор і зубчасту передачу. У нижній частині корпусу змішувача розміщений вивантажувальний шнек, який заблокований з механізмом клинової засувки та вмикається в роботу лише після повного відкриття вивантажувальної горловини [15].

Подача пари під час запарювання кормів здійснюється через розподільні труби, що виходять за межі корпусу в його нижній частині. З кожного боку корпусу на паророзподільних трубах змонтовано по п'ять муфтових кранів, одночасне керування якими здійснюється за допомогою штанг і важелів. Для подачі пари безпосередньо в кормову масу передбачені патрубки з отворами, що відходять від кранів усередину корпусу.

Вода, меляса, карбамідні розчини, молочні відходи та інші рідкі добавки вводяться в кормову суміш через дві трубки, розташовані у верхній частині корпусу. Отвори в трубках зорієнтовані таким чином, що рідкі добавки надходять безпосередньо в зону інтенсивного перемішування між мішалками. Зверху змішувач закривається кришками, в одній з яких передбачено завантажувальний люк із шиберною засувкою [9;15].

У кормоцехах тваринницьких ферм кормоприготувальні машини об'єднують у потокові технологічні лінії, які забезпечують обробку кормів усіх видів для згодовування тваринам та приготування повнораціонних кормових сумішей. Усі процеси в таких потокових технологічних ліній механізовані – від

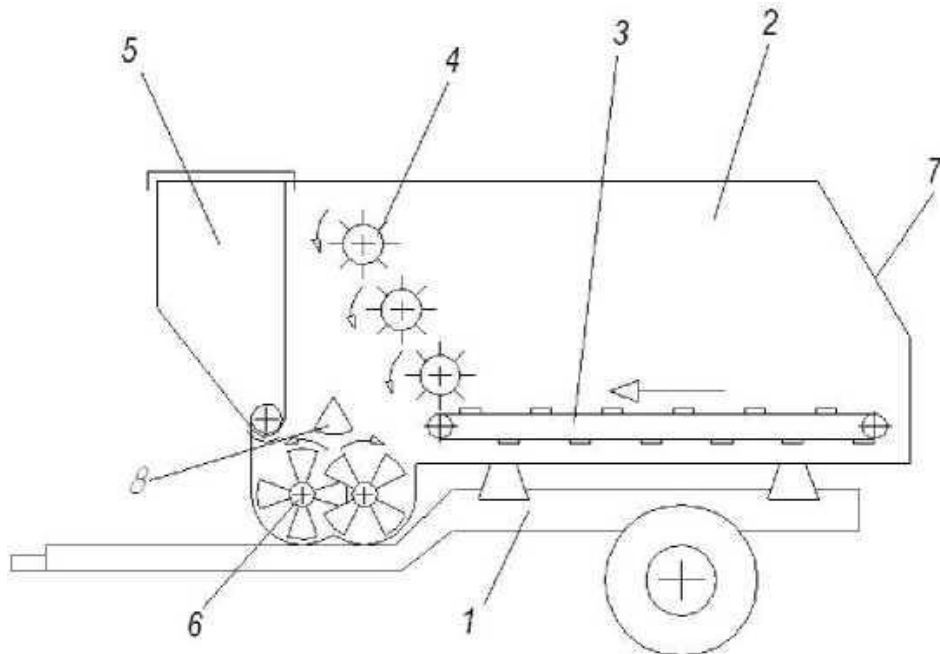
завантаження кормів у змішувальні машини до їх вивантаження та подальшого завантаження у кормороздавачі [8].

Світовий досвід підтверджує ефективність використання сучасних багатофункціональних універсальних технічних засобів – фермських комбайнів – для приготування та роздавання кормових сумішей. За визначенням, фермський комбайн є машиною для завантаження, подрібнення, дозування, змішування кормових матеріалів і роздавання приготованої кормової суміші тваринам. Такі машини можуть бути оснащені пристроями для самозавантаження або працювати без них, мати горизонтальні чи вертикальні шнеки для змішування та подрібнення великостеблових кормів (у тому числі в рулонах і паках) і забезпечувати виконання всіх технологічних операцій у процесі організації годівлі тварин: завантаження компонентів, їх дозування, доподрібнення, змішування, транспортування та роздавання готової кормосуміші на кормовий стіл або в годівниці.

Технологічний процес приготування кормосуміші здійснюється таким чином: змішувач-кормороздавач по черзі під'їжджає до сховищ кормів, що входять до раціону, та завантажується окремими компонентами кормової суміші. Кількість завантаженого корму контролюється за шкалою вагового пристрою. Стеблові корми завантажують із використанням тракторних навантажувачів, а концентровані корми та білково-вітамінно-мінеральні добавки – з бункерів-накопичувачів у бункер фермського комбайна.

Після завершення завантаження всіх складових раціону корм транспортують комбайном до тваринницького приміщення, де в процесі руху відбувається змішування компонентів і формування повнораціонної кормової суміші. Після заїзду на кормовий стіл або кормовий проїзд машину переводять на знижений режим руху, вмикають вивантажувальний конвеєр і здійснюють роздавання корму по всій довжині фронту годівлі тварин. Таким чином, один сучасний змішувач-кормороздавач здатний повністю замінити традиційні кормоцехи, що застосовувалися раніше [13;21].

Технологічний процес роботи кормороздавача-змішувача відбувається таким чином (рис. 1.5): стеблові корми накопичуються у бункері-дозаторі для основних кормів, установленому на рамі, а концентровані корми – у бункері-дозаторі для концентрованих кормів, також розміщеному на рамі.



1 – ходова частина з рамою; 2 – кузов; 3 – поздовжній транспортер; 4 – кормовідділювач; 5 – дозатор концентрованих кормів; 6 – змішувач потокового типу; 7 – задня стінка кузова; 8 – напрямний сегмент.

Рисунок 1.5 – Конструктивно-технологічна схема кормороздавача-змішувача для вологих кормових сумішей:

Продуктивність подачі кожного виду кормів регулюється режимами роботи відповідних робочих органів: для основного корму – швидкістю руху поздовжнього транспортера, для концентратів – шириною вивантажувального вікна (не показано) бункера-дозатора для концентрованих кормів. Робочі органи вмикаються під час руху кормороздавача-змішувача.

Стебловий корм за допомогою поздовжнього транспортера подається до кормовідділювача, який забезпечує відокремлення та рівномірну подачу порцій корму від загального масиву і спрямовує їх у двохвальний лопатевий змішувач, розташований уздовж фронту кормороздавання. Одночасно у змішувач

надходить концентрований корм, після чого всі компоненти інтенсивно перемішуються робочими органами [7;21].

У результаті роботи двохвального лопатевого змішувача сформована кормова суміш у безперервному режимі рівномірно вивантажується по всій довжині фронту годівлі. При цьому напрямний сегмент, встановлений над двохвальним лопатевим змішувачем, запобігає розкиданню кормової маси лопатями робочих органів та сприяє формуванню стабільного й рівномірного потоку готової кормосуміші на виході.

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ

### 2.1. Визначення добової потреби кормів і продуктивності змішувальної лінії

Згодовування кормів у попередньо підготовленому вигляді забезпечує низку важливих виробничих переваг, а саме: підвищення поїдання кормів тваринами; більш повне та прискорене засвоєння поживних речовин; зменшення витрат на процес роздавання кормів; уніфікацію технічних засобів для їх роздавання; можливість балансування раціонів за великою кількістю поживних показників; скорочення затрат праці та покращення умов роботи обслуговуючого персоналу [3;9].

Добову потребу кормів кожного виду визначають за залежністю

$$П_{Д.К_i} = m_{T_i} \cdot q_{1_i}, \quad (2.1)$$

де  $m_{T_i}$  – кількість тварин відповідного виду або технологічної групи

$m_{T_i} = 1000$  голів;

$q_1$  – добова норма видачі відповідного виду корму на одну голову, кг/гол,  
(див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Максимально допустима одноразова видача кормів для ВРХ та свиней, кг

Вид тварин	Зелена маса	Жом	Коренебульбоплоди	Силос	Сіно	Концентрати
ВРХ	25	25	10.12	10	10	3
Свині	5	3	2,5...3,0	-	-	1,0

На основі прийнятих вихідних даних визначаємо добову потребу кормів за видами:

- зелена маса

$$P_{Д.З} = 1000 \cdot 5 = 5000 \text{ кг};$$

- жом

$$P_{Д.Ж} = 1000 \cdot 3 = 3000 \text{ кг};$$

- коренебульбоплоди

$$P_{Д.К} = 1000 \cdot 3 = 3000 \text{ кг};$$

- концентровані корми

$$P_{Д.КК} = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{ кг}.$$

Дозування та змішування компонентів під час приготування кормових сумішей за раціонами здійснюється за допомогою спеціалізованих дозаторів і змішувачів. Забезпечення високої однорідності складу кормосуміші гарантує однакову поживну цінність усього об'єму корму. Для зернових кормів показник однорідності суміші повинен становити не менше 90-95%, залежно від виду та віку тварин [9;23].

Одним із перспективних напрямів у проектуванні кормоцехів є формування комплектів обладнання, змонтованого в технологічні лінії з урахуванням заданої продуктивності та інших параметрів. Використання таких комплектів дозволяє знизити вартість будівництва, спростити монтаж і експлуатацію обладнання, а також скоротити трудові та ресурсні витрати на приготування кормових сумішей.

Для відгодівлі свиней обираємо лопатевий змішувач (рис. 3.3).

Продуктивність технологічної лінії змішування кормів визначають за формулою:

$$Q_{ЛЗМ} = \frac{1}{t_{Ц.ЗМ} \cdot z_{ЗМ}} \sum_{i=1}^n M_i, \quad (2.2)$$

де  $\sum_{i=1}^5 M_i$  – сумарна маса компонентів, що входять до складу кормосуміші

добового раціону.

$t_{Ц.ЗМ}$  – тривалість одного циклу змішування,  $t_{Ц.ЗМ} = 1$  год.;

$z_{ЗМ}$  – кількість циклів змішування за час роботи кормоцеху,  $z_{ЗМ} = 1$ .

Сумарну масу компонентів кормів добового раціону визначають за формулою:

$$\sum_{i=1}^n M_i = П_{Д.З} + П_{Д.Ж} + П_{Д.К} + П_{Д.С} + П_{Д.КК} \quad (2.3)$$

Після підстановки вихідних даних отримаємо:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 5000 + 3000 + 3000 + 1000 = 12000;$$

$$Q_{ЛЗМ} = \frac{1}{1 \cdot 1} 12000 = 12000 \text{ кг/год.}$$

Відповідно до прийнятої технологічної схеми кормоцеху визначаємо та розраховуємо кількість необхідних машин [9].

Для змішування кормів приймаємо змішувач ШВС-40М продуктивністю ,  
 $Q_{Ф.М} = 40$  т/год

$$n_{М4} = \frac{12,000}{40} = 0,3,$$

приймаємо  $n_{М4} = 1$ .

## 2.2. Вибір і розрахунок геометричних параметрів та режимів роботи шнекового транспортного механізму

Основним робочим органом більшості вантажно-розвантажувальних машин, що застосовуються в сільському господарстві, є шнекові механізми. Особливості їх функціонування зумовлені різноманіттям технологічних операцій, які вони виконують, а також фізико-механічними властивостями транспортованого матеріалу. Саме ці чинники визначають вибір типу, конструктивне виконання та основні геометричні й кінематичні параметри шнекового транспортного механізму.

Принципову схему роботи шнекового транспортера наведено на рисунку 2.1. Технологічна маса надходить у бункер, в якому встановлений вал шнека. Далі матеріал потрапляє на гвинтовий робочий орган – шнек, розміщений у бетонному жолобі по всій довжині транспортера. Під час обертання шнека здійснюється поступальне переміщення матеріалу вздовж осі транспортера [8].

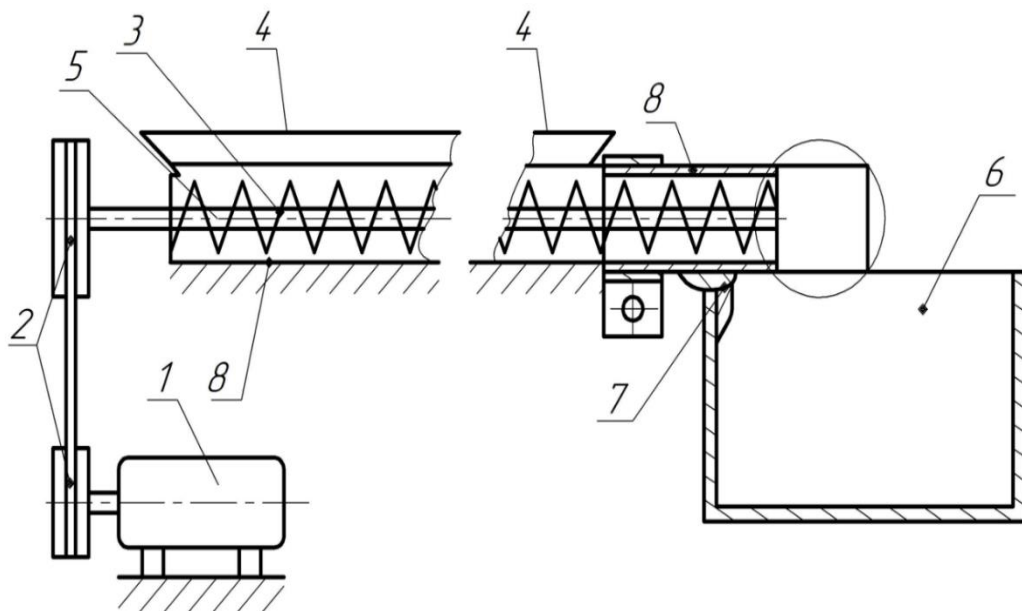


Рисунок 2.1 – Принципова схема роботи шнекового транспортного механізму

Привід шнекового механізму здійснюється від електродвигуна через передавальний механізм. Бункер закріплений на бетонній опорі, що забезпечує

стійкість конструкції під час роботи. Вивантаження транспортованої сировини відбувається в приймальну ємність, а кінець транспортера фіксується за допомогою кронштейна [22].

Залежність продуктивності шнекового транспортера від частоти обертання його робочого органа визначається фізико-механічними властивостями транспортованої сировини, а також геометричними параметрами шнека. Кількісна оцінка впливу частоти обертання на зміну продуктивності здійснюється за відповідною розрахунковою залежністю, наведеною у роботах [1;3;12].

$$Q_0 = \frac{\psi \cdot \varphi_0 (1 + \sqrt{1 - \varphi_0}) \cdot \pi \cdot D^3 \cdot \omega (T^2 + 0,5\pi \cdot \mu \cdot D \cdot T (1 + \sqrt{1 - \varphi_0}))}{16(T^2 + 0,25\pi^2 D^2 (2 + \varphi_0 - 2\sqrt{1 - \varphi_0}))}, \quad (2.4)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнека,  $D = D_J - z$ ;

$D_J$  – внутрішній діаметр труби (жолоба), в якій розміщено шнек;

$z$  – радіальний зазор між зовнішньою крайкою витка шнека та внутрішньою поверхнею труби,  $z = 0,02 D_J$ ;

$\mu$  – коефіцієнт тертя транспортованої сировини по поверхні шнека;

$T$  – крок навивки (спіралі) шнека,  $T = 0,7 D_J$ ;

$\varphi_0$  – коефіцієнт заповнення робочого об'єму шнекового транспортера,

$$\varphi_0 = 0,8;$$

$\psi$  – коефіцієнт, залежить від ширини спіралі шнека,

$$\psi = \frac{4k_\psi \cdot B(D_J - B - 2z)}{D_J^2};$$

$k_\psi$  – коефіцієнт, що враховує вплив ширини витка спіралі шнека,

$$k_\psi = 1 \text{ – для сипких матеріалів;}$$

$B$  – ширина витка спіралі шнека,  $B = 0,3D_J$ ;

$\omega$  – кутова швидкість обертання шнека,  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ ,

$n$  – частота обертання шнека.

За отриманою формулою визначено об'єм матеріалу  $Q_0$ , м<sup>3</sup>, який транспортується шнековим механізмом протягом однієї секунди. Для визначення масової кількості сировини  $Q$ , що передається за одну годину, виконують перехід від об'ємної до масової продуктивності за залежністю:

$$Q = 3600 \cdot Q_0 \cdot \gamma_c, \quad (2.5)$$

де  $\gamma_c$  – питома вага (об'ємна маса) транспортованого матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

На основі отриманих аналітичних залежностей побудовано графіки впливу основних кінематичних та енергетичних параметрів на продуктивність шнекових транспортерів, зокрема частоти обертання шнека, кутової швидкості та геометричних характеристик робочого органа (рис. 2.2).

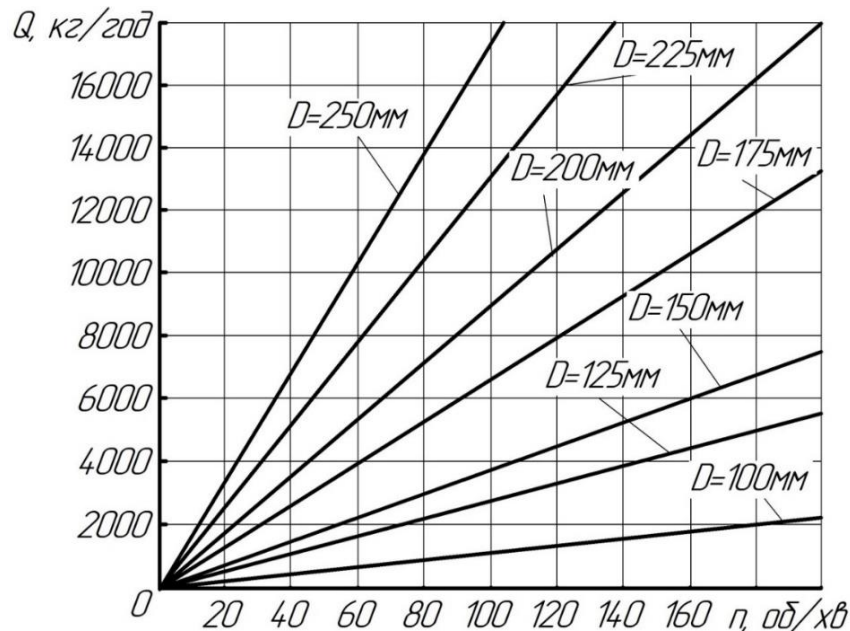


Рисунок 2.2 – Графік залежності продуктивності шнекового транспортера від його кінематичних та конструктивних параметрів

За результатами графічного аналізу встановлено характер зміни продуктивності залежно від режимів роботи шнекового транспортного механізму, що дає змогу обґрунтувати раціональні конструктивні та кінематичні параметри для заданих умов експлуатації.  $D=200$  мм,  $n=60$  об/хв.,  $Q=5800$ кг/м<sup>3</sup>.

### 2.3. Силовий розрахунок шнекового механізму

Розрахункову потужність приводу шнекового транспортера за умови одночасного заповнення робочого об'єму шнека екскрементами визначають за залежністю [3]:

$$N = v_K \cdot G \cdot (\sin \beta + f \cos \beta) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 + \varphi_T), \quad (2.6)$$

де  $v_K$  – колова швидкість точки на поверхні шнека, у якій прикладена

рівнодійна сила тиску технологічної сировини, м/с;

$G$  – вага екскрементів, що знаходяться у жолобі шнека, Н;

$\beta$  – кут нахилу транспортера,  $\beta=0$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя екскрементів по матеріалу поверхні шнека,

$f = 0,2$ ;

$\alpha_0$  – кут підйому гвинтової лінії (витка) шнека;

$\varphi_T$  – кут тертя сировини по поверхні шнека.

$$v_K = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n}{2}, \quad (2.7)$$

де  $D_0$  – діаметр колової траєкторії на поверхні шнека, у точці прикладання

рівнодійної сили тиску технологічної сировини;

$$D_0 = 0,8 \cdot D_{ш} = 0,8 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ м};$$

$$v_K = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 60}{2} = 15,05 \text{ м/с.}$$

$$G = \frac{Q \cdot L \cdot g}{v_{oc}}, \quad (2.8)$$

де  $Q$  – продуктивність шнекового транспортера,  $Q=1,59$ кг/с;

$L$  – загальна довжина вітки (робочої ділянки) транспортера,  $L=40$ м;

$v_{oc}$  – осьова швидкість переміщення сировини вздовж шнека,

$$v_{oc} = \frac{T \cdot n}{60} = \frac{0,7 \cdot 0,2 \cdot 60}{60} = 0,14 \text{ м/с}; \quad (2.9)$$

$$G = \frac{1,59 \cdot 40 \cdot 9,81}{0,14} = 4456 \text{ Н};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{T}{\pi \cdot D_0} = \frac{0,7 \cdot 0,2}{\pi \cdot 0,16} = 0,279, \quad \alpha = 15,6^\circ; \quad (2.10)$$

$$\operatorname{tg} \phi_T = f_T = 0,2, \quad \phi_T = 11,3^\circ.$$

Таким чином, потужність механізму для транспортування екскрементів із ферми визначається на підставі силового розрахунку шнекового транспортера та умов його роботи [4;5].

$$N = 15,05 \cdot 4456 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{tg} (15,6^\circ + 11,3^\circ) = 6805 \text{ Вт.}$$

Розрахункова потужність, необхідна безпосередньо для переміщення екскрементів шнековим механізмом:

$$N_{\partial} = \frac{N \cdot k}{\eta_n}, \quad (2.11)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати потужності на переміщення компонентів сумішей, динамічні навантаження та нерівномірність подачі матеріалу,  $k = 1,3$ ;

$\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії підшипників кочення,  $\eta_n = 0,8$ .

$$N_{\partial} = \frac{6805 \cdot 1,3}{0,8} = 11060 \text{ Вт.}$$

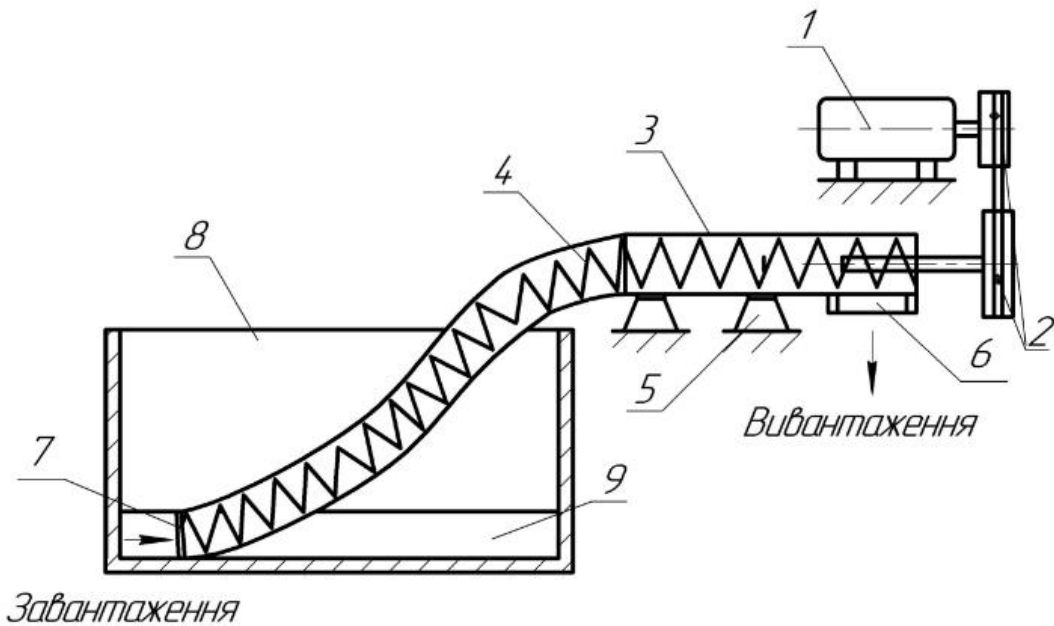
Момент на валу двигуна визначають за залежністю

$$M = \frac{N_{\partial}}{\omega} = \frac{11060}{6,28} = 1760 \text{ Нм.} \quad (2.12)$$

#### **2.4. Розрахунок кінематичних і геометричних параметрів механізмів відкачування та транспортування сировини**

Для транспортування кормових компонентів із бункера зберігання з метою їх подальшої подачі на змішування доцільно застосовувати гнучкий шнековий транспортер (рис. 2.3). Такий тип транспортного обладнання є ефективним рішенням для переміщення сипких і подрібнених кормів у межах кормоприготувальних ліній різної конфігурації [19].

Використання гнучкого шнекового транспортера забезпечує безперервність і рівномірність подачі кормових компонентів, що є важливою умовою стабільної роботи змішувального обладнання. Завдяки гнучкій конструкції робочого органу транспортер може змінювати просторове положення та прокладатися по складних траєкторіях, обходячи перешкоди і з'єднуючи окремі технологічні вузли без необхідності встановлення додаткових перевантажувальних пристроїв.



1 – електродвигун; 2 – пасова передача; 3 – кожух шнека; 4 – гнучкий шнек; 5 – опора; 6 – вивантажувальний патрубок; 7 – завантажувальний патрубок; 8 – бункер для кормів; 9 – приймальний лоток.

Рисунок 2.3 – Схема транспортування кормових компонентів гнучким шнековим транспортером із бункера зберігання

Діаметр кожуха гнучкого шнека приймаємо конструктивно  $D = 100$  мм. На підставі прийнятого значення діаметра та відповідних розрахункових залежностей визначаємо продуктивність транспортуючого механізму.

Продуктивність гнучкого шнекового транспортера залежить від геометричних параметрів шнека, фізико-механічних властивостей корму та частоти обертання робочого органу. Зі збільшенням частоти обертання шнека продуктивність зростає, однак при надмірно високих обертах можливе зниження ефективності транспортування через прослизання матеріалу та підвищення енерговитрат [5;9].

На основі виконаних розрахунків будемо графік зміни продуктивності транспортуючого механізму залежно від частоти обертання шнека (рис. 2.4), що дозволяє визначити раціональний режим його роботи та забезпечити стабільну подачу кормових компонентів у технологічну лінію.

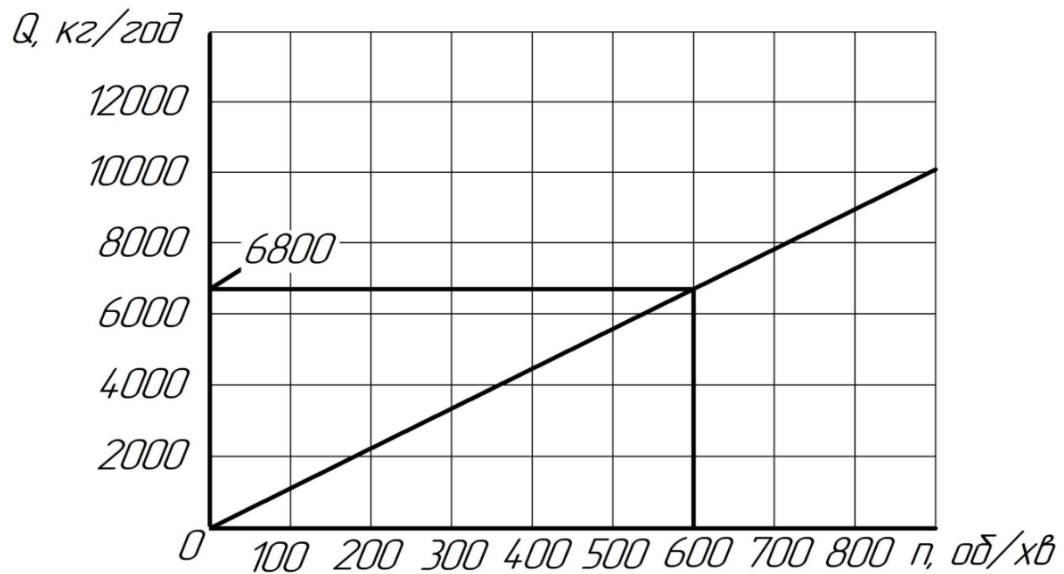


Рисунок 2.4 – Залежність продуктивності гнучкого транспортера від частоти обертання гвинта

За результатами аналізу графіка (рис. 2.4) приймаємо частоту обертання вала шнека  $n=600$  об/хв, що забезпечує продуктивність транспортного механізму  $Q_T=6,8$  т/год.

$$t_{ш} = \frac{G_T}{Q_T} = \frac{19,552}{6,8} = 2,87 \text{ год.}$$

Розрахунки показали, що продуктивність транспортера безпосередньо залежить від частоти обертання робочого органу, причому її збільшення дозволяє підвищити швидкість подачі корму, але потребує контролю для уникнення прослизання матеріалу та надмірних енерговитрат.

### **3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ**

#### **3.1. Аналіз закономірностей процесу змішування кормів**

Змішуванням називають процес поєднання об'ємів різних речовин з метою формування однорідної за складом суміші. За своєю суттю змішування є механічним процесом, у ході якого компоненти, що на початковому етапі перебувають у роздільному стані, внаслідок рівномірного розподілу в загальному об'ємі матеріалу утворюють однорідну кормову масу. В ідеальному випадку однорідна суміш характеризується таким станом, за якого в будь-якій її точці кожна частинка одного компонента контактує з частинками інших компонентів у пропорціях, що відповідають заданому рецептурному співвідношенню [9;18].

Стан повного механічного змішування компонентів досягається шляхом їх невпорядкованого розподілу під дією зовнішніх сил, які створюються робочими органами мішалки. При цьому забезпечується відповідність фактичного вмісту окремих складових у всьому об'ємі суміші зоотехнічним вимогам, встановленим рецептом добового раціону для певної технологічної групи тварин (рис. 3.1).

У змішувачах з удосконаленою конструкцією інтенсифікація масообміну між потоками компонентів кормової суміші відбувається за рахунок вирівнювання концентрації окремих складових по всьому об'єму. Це досягається шляхом збільшення кількості зіткнень частинок, ускладнення траєкторій їх руху та багатократного перетину потоків, що істотно перевищує ефективність традиційних змішувачів (рис. 3.2) [13].

До основних закономірностей процесу змішування кормів належать такі: однорідність суміші досягається тим швидше, чим ближчим до одиниці є

співвідношення об'ємів і густин компонентів; зменшення розмірів частинок і вирівнювання їх гранулометричного складу значно полегшують процес формування однорідної кормової суміші та підвищують якість змішування.

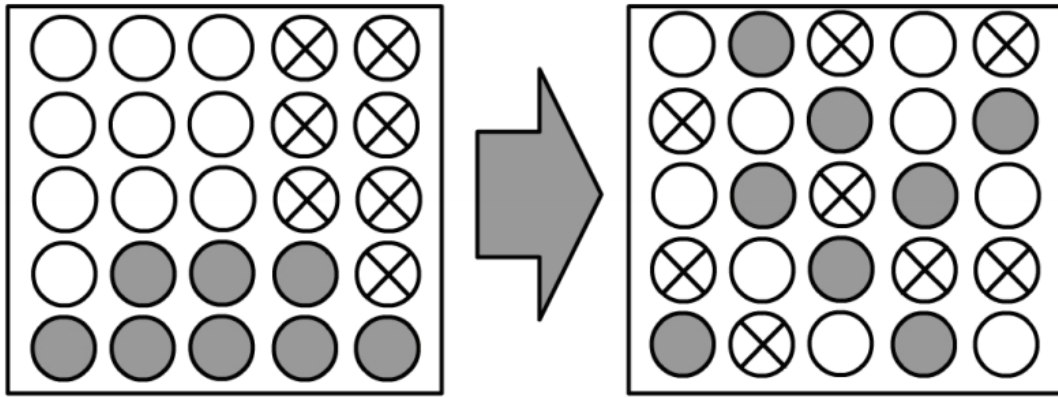
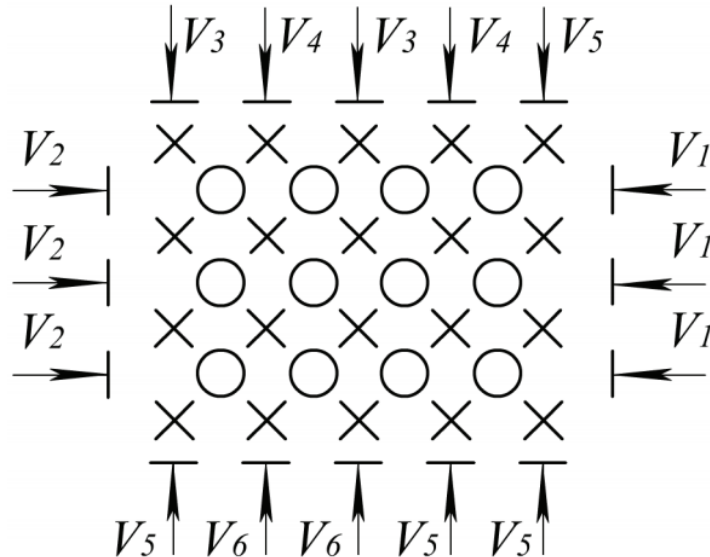


Рисунок 3.1 – Стан повного змішування трикомпонентної суміші, досягнутий шляхом невпорядкованого розподілу дискретних частинок залежно від їх кількісного співвідношення



$V_1, V_2, V_4, V_5, V_6$  – вектори напрямку та величини швидкості переміщення компонентів суміші (осьового, кругового та відцентрового руху) під дією плоских і гвинтових лопатей та пальців.

Рисунок 3.2 – Принципова графічна схема запропонованого способу формування кормової суміші

Під співвідношенням компонентів у кормовій суміші розуміють відношення кількісного вмісту більшого за масою або об'ємом компонента до меншого. Даний показник має визначальний вплив на складність процесу змішування та досягнення необхідної однорідності суміші [9].

Однорідність сумішей, що складаються з різних сипучих матеріалів, оцінюють із застосуванням статистичних методів на основі результатів аналізу проб, відібраних з готової суміші. Якість процесу змішування зазвичай характеризують однією випадковою величиною – так званим контрольним компонентом, який вводять у суміш у заданій пропорції. Шляхом відбору проб необхідного об'єму та у визначеній кількості, за одним із відомих критеріїв визначають ступінь однорідності та ефективність змішування.

На сьогодні для оцінювання якості змішування запропоновано понад двадцять різних критеріїв, які ґрунтуються на аналізі проб із суміші та відрізняються між собою методами математичної обробки експериментальних результатів. Кінетика процесу змішування реальних кормових сумішей істотно залежить від фізико-механічних властивостей окремих компонентів, а також від режимів роботи змішувального обладнання, у зв'язку з чим процес може перебігати по-різному [8;9;23].

Аналіз існуючих критеріїв оцінки якості змішування показує, що найбільш поширеним є статистичний метод контролю. При цьому розміри відібраних проб, їх кількість, а також відносний вміст контрольного компонента в суміші можуть суттєво впливати на кінцеву оцінку якості процесу змішування.

Для реалізації процесу змішування розроблено велику кількість конструкцій змішувачів, які за характером виконання технологічного процесу поділяють на змішувачі періодичної та безперервної дії. Процес періодичного змішування, як правило, відбувається у замкнутому об'ємі змішувального пристрою, де визначальним фактором є тривалість змішування, яка повинна

бути мінімально достатньою для досягнення заданого рівня однорідності суміші.

Змішувачі періодичної дії працюють у циклічному режимі, що включає послідовну подачу компонентів у змішувач, їх перемішування та вивантаження готової продукції. З урахуванням цього такі змішувачі вважаються недостатньо досконалими не лише з погляду тривалості циклу, обмеженої продуктивності, підвищених питомих витрат енергії та металоємності, але й з точки зору можливостей механізації та автоматизації технологічного процесу. Крім того змішувачі періодичної дії малоприсадибні для отримання сумішей, у яких компоненти входять у співвідношеннях 1:100 і більше [9;19].

Характерною особливістю змішувачів безперервної дії є відсутність багаторазового проходження матеріалу через одні й ті самі зони перемішування. Такі змішувачі мають суттєві переваги, оскільки процес змішування в них є сталим і стабільним, що дозволяє формувати суміші з дуже малими концентраціями окремих компонентів – на рівні 0,1-1 % (лікарські препарати, мікроелементи, вітаміни тощо).

Якісну оцінку процесу змішування здійснюють за ступенем однорідності отриманої кормової суміші, який визначають як відношення фактичної кількості контрольного компонента у відібраній пробі до його заданої кількості для даної суміші, виражене у частках одиниці або у відсотках. Розрахунок цього показника виконують за формулами [3]:

$$\Theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B_1}{B_0} \cdot 100 \text{ при } B_1 < B_0, \% \quad (3.1)$$

$$\Theta = \frac{1}{n} \sum \frac{2B_0 - B_1}{B_0} \cdot 100 \text{ при } B_1 > B_0, \% \quad (3.2)$$

де  $\Theta$  – ступінь однорідності суміші, %;

$B_1$  – фактичний вміст компонентів у досліджуваній кормовій суміші;

$B_0$  – нормативно (рецептурно) заданий вміст компонентів у суміші;

$n$  – кількість відібраних проб для проведення аналізу.

Ступінь однорідності кормової суміші також оцінюють за значенням середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  фактичної концентрації компонентів від заданого рівня, а також за коефіцієнтом неоднорідності, або коефіцієнтом варіації  $\nu$  [12]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(B_1 - B_0)^2}{n - 1}}, \quad (3.3)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{B_0} \cdot 100, \% \quad (3.4)$$

Процес змішування вважається завершеним за умови, що фактичний вміст окремих компонентів у кормовій суміші відповідає заданим рецептурним значенням у встановлених межах: для комбікормів і концентратів – не менше 97 %, для соковитих кормів – 93 %, для рідких компонентів і води – 95 %, а для мінеральних добавок – 98 % від нормативно заданої кількості.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані значення ступеня однорідності кормових сумішей

Призначення суміші	Ступінь однорідності
для поросят віком до 4 місяців	93
для свиней усіх виробничих груп та поросят старших 4-місячного віку	85-90
для сільськогосподарської птиці	90
Для великої рогатої худоби	84-88
комбікорми власного виготовлення, призначених для всіх видів тварин	90-95

У виробничих умовах кормоцехів досягнення зазначених показників забезпечує необхідний рівень однорідності кормових сумішей без істотного негативного впливу на продуктивність тварин. Практика свідчить, що для

ефективної годівлі достатньо забезпечити нормативну ступінь однорідності кормів, наведені значення якої подано в табл. 3.1 [3;12].

Тихохідними вважають такі змішувачі, для яких значення показника кінематичного режиму дорівнює:

$$k = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} < 30, \quad (3.5)$$

а швидкохідними – у яких у яких значення показника кінематичного режиму перевищує:

$$k = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} > 30, \quad (3.6)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання робочого органа,  $c^{-1}$ ;

$R$  – максимальний радіус робочого органа, м;

$g$  – прискорення вільного падіння (сили тяжіння),  $m/c^2$ .

Під час виробництва сухих кормових сумішей переважно застосовують змішувачі з вертикальним розташуванням робочих органів, що забезпечує ефективне перемішування сипких компонентів. Для приготування вологих кормів доцільніше використовувати змішувачі з горизонтальною орієнтацією робочих органів, які краще пристосовані до роботи з матеріалами підвищеної вологості. За необхідності в змішувачах здійснюють теплову обробку кормів шляхом запарювання.

Як правило, процес запарювання реалізують у змішувачах періодичної дії, оскільки він потребує певного часу для нагрівання кормової маси до заданої температури. Завантаження змішувачів здійснюють із використанням дозувальних пристроїв. При цьому змішувачі безперервної дії оснащуються дозаторами безперервної подачі, продуктивність яких повинна відповідати

заданому рецептурному співвідношенню компонентів у готовій кормовій суміші.

Змішувачі періодичної дії завантажуються необхідними компонентами протягом визначеного інтервалу часу, який зазвичай становить 10-15 хвилин. Продуктивність дозувального обладнання в цьому випадку має забезпечувати подачу розрахункової кількості кожного компонента у межах заданого часу завантаження [9;12;14].

### **3.2. Принципова технологічна схема стрічково-лопатевого змішувача кормових сумішей**

Робочий цикл традиційних змішувачів періодичної дії включає послідовне виконання таких операцій: завантаження розрахункових доз окремих компонентів (силосу, соломи, сінажу, коренеплодів, концентрованих кормів тощо), їх перемішування та подальше вивантаження готової кормової суміші за допомогою вивантажувального шнека, після чого цикл повторюється. У змішувачах періодичної дії рівень однорідності суміші регулюється, головним чином, тривалістю процесу перемішування.

Аналіз якісних показників роботи існуючих змішувачів свідчить про недостатню стабільність і підвищену складність технологічного процесу. Зокрема, подача окремих компонентів у бункер відбувається нерівномірно, а досягнута однорідність кормосуміші часто не відповідає встановленим нормативним вимогам. Для забезпечення необхідної якості змішування потрібен значний час – понад 10-15 хвилин – для доведення суміші до однорідного стану, що негативно впливає на продуктивність обладнання та зумовлює зростання енергетичних витрат.

З метою усунення зазначених недоліків традиційних змішувачів запропоновано удосконалену конструкцію, яка реалізує комбіновану схему руху

кормової сировини із застосуванням багатосекційних гвинтових, стрічкових і плоских лопатей (рис. 3.3) [7;8;14]. Застосування такої схеми дозволяє інтенсифікувати процес масообміну між компонентами та підвищити стабільність показників якості змішування.

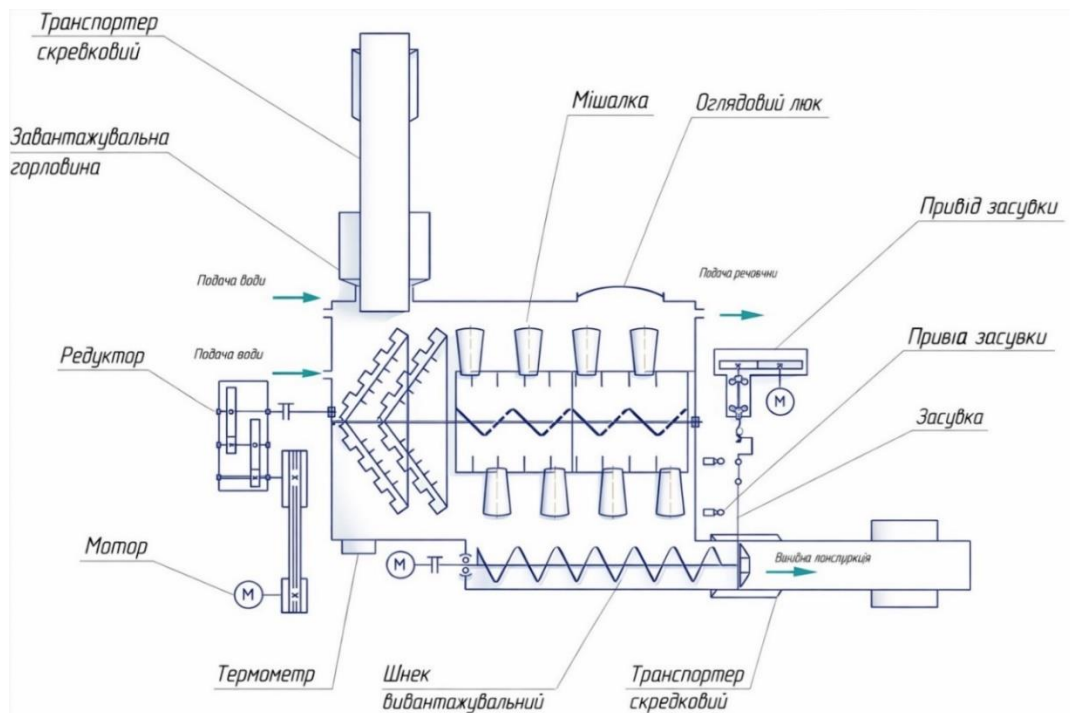


Рисунок 3.3 – Принципова технологічна схема стрічково-лопатевого змішувача кормових сумішей

Для розпушування кормової маси, інтенсифікації процесу та підвищення динамічності змішування компонентів у мікрооб'ємах гвинтові й плоскі лопаті доукомплектовано радіальними лопатями. Процес змішування кормів в удосконаленому змішувачі здійснюється таким чином. Розрахункові дози компонентів кормосуміші пошарово подаються збірним транспортером у бункер, де відбувається поступове вирівнювання потоку з одночасним попереднім перемішуванням сировини стрічковими довгими гвинтовими лопатями з пальцями [9]. Далі матеріал надходить у багатосекційну мішалку з плоскими лопатями (рис. 3.3).

Лопаті верхнього ряду з правим кутом нахилу відокремлюють порції суміші по ширині лопаті та переміщують їх у радіальному, круговому й

осьовому напрямках у праву частину змішувача. Другий ряд лопатей, що має лівий кут нахилу, спрямовує кормову масу у ліву частину мішалки. У поєднанні з радіальними пальцями це формує значну кількість мікрооб'ємів суміші з дискретним розподілом часток змішуваних компонентів. У таких умовах частинки кожного компонента потрапляють у зони складної взаємодії рухів, багаторазових перетинів і зіткнень та періодично переходять з одного потоку в інший, що забезпечує інтенсивний масообмін і суттєво прискорює процес змішування кормів.

Переміщення кормової суміші по поверхні лопатей із різними кутами нахилу в зоні інерційного (вільного) руху відбувається в режимі підвищеної динамічності процесу та зростання кількості зіткнень і перетинів у радіальному та осьовому напрямках. Це визначається формою й геометричними розмірами лопатей, кроком їх розміщення, кутом нахилу, а також кінематичними режимами роботи робочих органів.

Визначення кінематики руху окремої частки кормової суміші виконували з урахуванням сил тертя та кута нахилу лопатей [13]. За наявності тертя, залежно від кута нахилу лопаті до осі вала  $\alpha$  (рис. 3.4), переміщення матеріальної точки компонента суміші в осьовому напрямку за час проходження лопаті на відповідну величину визначають за формулою:

$$h_0 = S \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (3.7)$$

- відставання частки в осьовому напрямку на величину

$$z = S \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}; \quad (3.8)$$

- відставання частки в круговому напрямку

$$\lambda = S \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (3.9)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу лопаті;

$\varphi$  – кут тертя частки по поверхні лопаті;

$S$  – проекція ширини лопаті.

Осьову швидкість переміщення частки кормової суміші визначають за залежністю:

$$v_0 = S \cdot (1 - \mu) = S \cdot \left[ 1 - \frac{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \right], \quad (3.10)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт осьового відставання часток, що залежить від значень кутів  $\alpha$  та  $\varphi$ .

$$\alpha \text{ і } \varphi, \mu = \frac{z}{h_0}.$$

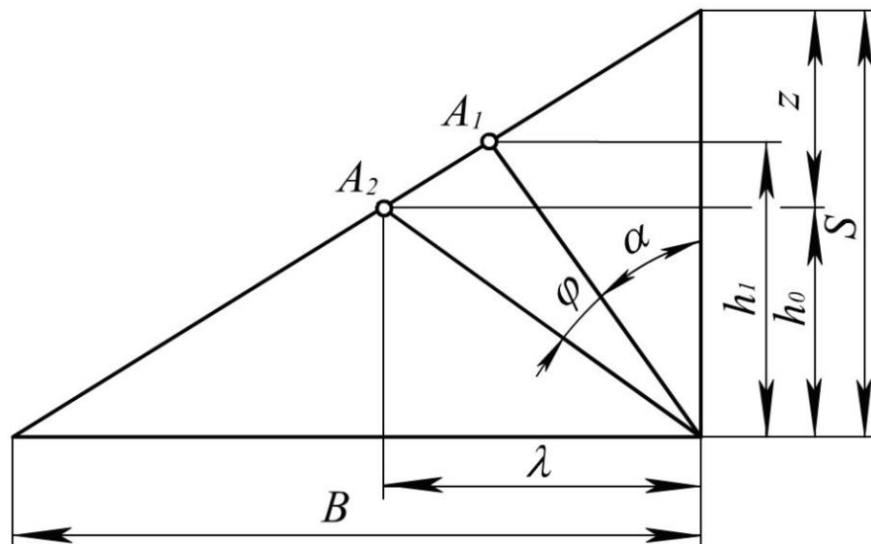
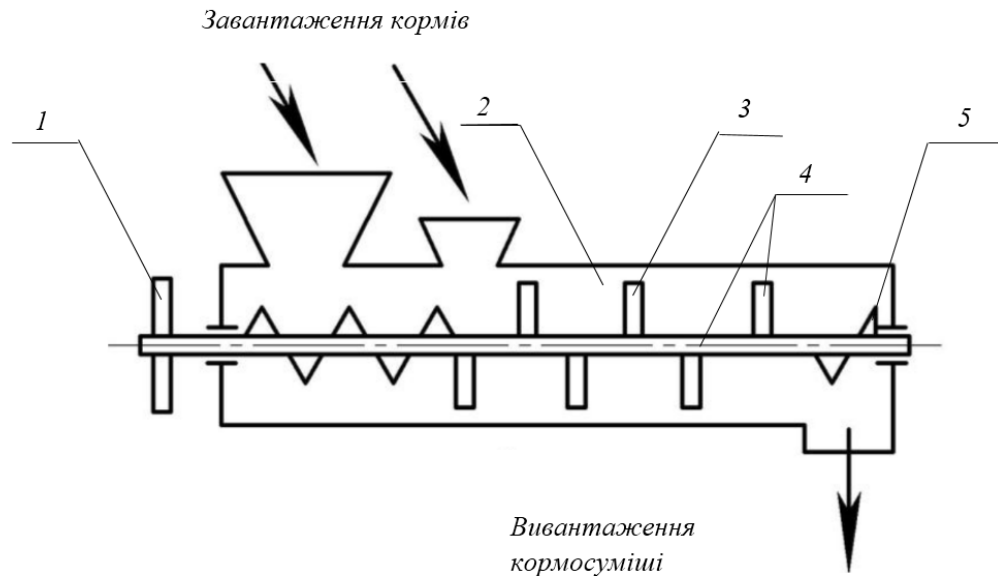


Рисунок 3.4 – Переміщення матеріальної частки в осьовому напрямку за час її взаємодії з лопаттю

### 3.3. Аналітичне дослідження параметрів лопатевого змішувача

Однією з ключових умов ефективного використання кормів у виробництві продукції тваринництва є забезпечення годівлі тварин і птиці повнораціонними

кормовими сумішами, збалансованими за поживними речовинами, вітамінами та мікроелементами відповідно до запланованого рівня продуктивності. Невід’ємною операцією процесу кормоприготування є високоякісне змішування кормової суміші, яке безпосередньо впливає на рівень продуктивності тварин і птиці [8;9]. Схематичне зображення типового лопатевого змішувача наведено на рис. 3.1.



1 – приводний механізм; 2 – робоча ємність; 3 – лопатевий робочий орган;  
4 – вал приводу лопатей; 5 – вивантажувальний шнек.

Рисунок 3.5 – Схематичне зображення процесу змішування кормової суміші

Об’єм кормосуміші який необхідно приготувати для забезпечення годівлі всього поголів’я тварин на фермі, визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$V_{3M} = \frac{q_D \cdot m_N}{n_{Ц} \cdot \rho_{КС} \cdot k_{3M}}, \quad (3.11)$$

де  $q_D$  – добова норма видачі кормосуміші на одну голову,  $q_D = 12 \text{ кг/гол.}$ ,

(див. табл. 2.1);

$m_N$  – кількість тварин у групі (поголів'я),  $m_N=1000$ шт;

$n_{Ц}$  – кількість циклів приготування кормосуміші протягом доби,  $n_{Ц}=3$ шт;

$\rho_{КС}$  – густина (об'ємна маса) кормосуміші,  $\rho_{КС}=600$ кг/м<sup>3</sup>;

$k_{ЗМ}$  – коефіцієнт використання робочого об'єму змішувача,  $k_{ЗМ}=0,7$ .

Тобто:

$$V_{ЗМ} = \frac{12 \cdot 1000}{3 \cdot 600 \cdot 0,7} = 9,75 \text{ м}^3.$$

Кількість замішувань, необхідних для забезпечення приготування кормосуміші у заданому обсязі, визначають за формулою:

$$n_3 = \frac{V_{ЗМ}}{V_{13М}}, \quad (3.12)$$

де  $V_{13М}$  – об'єм приготування кормової суміші за один заміс,  $V_{13М}=3$  м<sup>3</sup>;

Отже, кількість замісів:

$$n_3 = \frac{9,75}{3} = 3,25;$$

За результатами розрахунку приймаємо кількість замісів  $n_3=4$  шт.

Пропускну здатність (продуктивність) одного кормозмішувача визначають за формулою:

$$Q_{13М} = \frac{60 V_{13М} \cdot \rho_{КС} \cdot k_{ЗМ}}{T_{Ц}}, \quad (3.13)$$

де  $T_{Ц}$  – тривалість циклу приготування однієї порції кормової суміші,

$$T_{Ц}=20\text{хв.}$$

У числовому вигляді отримаємо:

$$Q_{13M} = \frac{60 \cdot 3 \cdot 600 \cdot 0,7}{20} = 3780 \text{ кг/год.}$$

### 3.4. Конструктивний розрахунок горизонтально-лопатевого змішувача кормових сумішей

Довжину гвинта кормозмішувача, яку приймають рівною довжині змішувача, визначають за залежністю [3]:

$$L_{3M} = \frac{4 \cdot V_{13M}}{\pi \cdot D_{3M}^2}, \quad (3.14)$$

де  $D_{3M}$  – діаметр змішувача,  $D_{3M} = 1,2$  м.

Отже,

$$L_{3M} = \frac{4 \cdot 3}{\pi \cdot 1,2^2} = 2,6 \text{ м.}$$

Кількість лопатей, розміщених на одній мішалці, визначають за формулою:

$$Z_{Л} = \frac{360 L_{3M}}{S_{У.Л} \cdot \beta^\circ}, \quad (3.15)$$

де  $S_{У.Л}$  – крок установлення лопатей,  $S_{У.Л} = 0,4$  м;

$\beta$  – кутовий інтервал розміщення лопатей, град  $\beta = 90^\circ$ .

Тоді:

$$Z_{Л} = \frac{360 \cdot 2,6}{0,4 \cdot 90^\circ} = 26.$$

Кількість лопатей, що одночасно перебувають у зануреному стані, визначають за виразом:

$$Z_{ЛО} = \frac{L_{3M}}{S_{y.Л}} \left( \frac{180^\circ}{\beta^\circ} - m \right). \quad (3.16)$$

За прийнятого кутового інтервалу розміщення лопатей  $\beta = 90^\circ$  при  $m = 1$  [4;9;14]

$$Z_{ЛО} = \frac{2,6}{0,4} \left( \frac{180^\circ}{90} - 1 \right) = 6,5,$$

приймаємо  $Z_{ЛО} = 7$ .

### 3.5. Розрахунок силових навантажень і потужності приводу горизонтально-лопатевого змішувача кормів

Схему сил, що діють у площині, перпендикулярній до осі вала мішалки, за умови занурення лопаті в кормову масу, наведено на рис. 3.5.

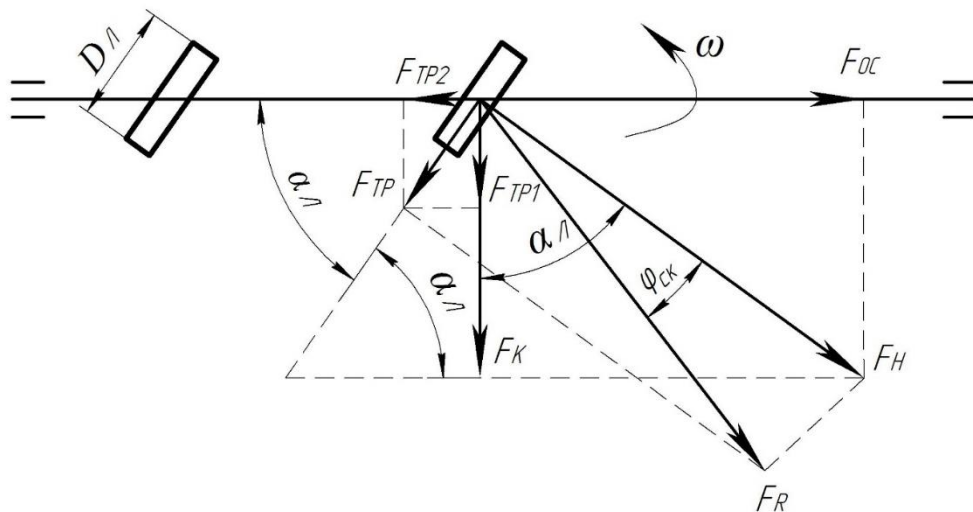


Рисунок 3.6 – Схема сил, що діють на лопать

Під час руху лопаті, зануреної у кормосуміш, опір, що виникає вздовж її довжини, розподіляється за трикутним законом (рис. 3.6). При цьому точка прикладання рівнодійної сили опору розташовується в центрі ваги відповідного трикутника, тобто на  $r_{CP}$  довжини лопаті від осі її обертання яка дорівнює  $2/3$

довжини лопаті. У випадку неповного заповнення робочої ємності та обертання лопаті глибина її занурення змінюється в часі, що необхідно враховувати під час силового аналізу [3;9].

Нормальну складову сили опору, що діє на лопать, визначають за формулою:

$$F_H = 9,81 \rho_{КС} \cdot h_{СР} \cdot S_L \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_{СК}}{2} \right), \quad (3.17)$$

де  $h_{СР}$  – середня глибина занурення лопаті, яка дорівнює половині

максимальної глибини її занурення,  $h_{СР} = (1/4) D_L = (1/4) \cdot 1,2 = 0,3$ , м;

$\varphi_{СК}$  – кут внутрішнього тертя кормової суміші,

$$\varphi_{СК} = \text{arctg} f_T = \text{arctg} 0,3 = 17^\circ ;$$

$S_L$  – проекція площі лопаті, зануреної в матеріал, на напрямок обертання.

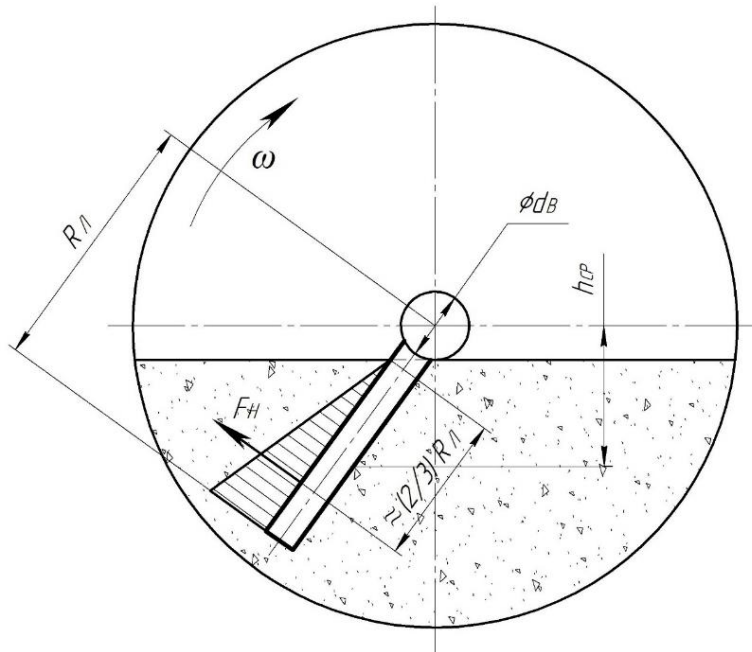


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема лопатевого змішувача

Проекцію площі лопаті, зануреної в кормосуміш, на напрямок обертання визначають за залежністю:

$$S_{Л} = b_M \left( R_{Л} - \frac{d_B}{2} \right) \cos \alpha_{Л}; \quad (3.18)$$

де  $b_M$  – ширина лопаті мішалки, м,  $b_M = 0,1$  м;

$R_{Л}$  – радіус лопаті,  $R_{Л} = 0,6$  м;

$d_B$  – діаметр вала мішалки,  $d_B = 0,05$  м;

$\alpha_{Л}$  – кут нахилу лопаті до осі обертання вала,  $\alpha_{Л} = 35^\circ$ .

Після підстановки числових значень одержимо:

$$S_{Л} = 0,1 \left( 0,6 - \frac{0,05}{2} \right) \cos 35^\circ = 0,470 \text{ м}^2;$$

$$F_H = 9,81 \cdot 600 \cdot 0,3 \cdot 0,470 \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right) = 1514 \text{ Н.}$$

Колове зусилля, що діє на лопать у процесі перемішування, визначають за формулою:

$$F_K = F_H (\cos \alpha_{Л} + f_T \cdot \sin \alpha_{Л}), \quad (3.19)$$

де  $f_T$  – коефіцієнт тертя кормосуміші по поверхні лопаті.,  $f_T = 0,3$ .

Осьову складову зусилля визначають за виразом:

$$F_{OC} = F_H (\sin \alpha_{Л} - f_T \cdot \cos \alpha_{Л}). \quad (3.20)$$

Після підстановки вихідних даних одержимо:

$$F_K = 1514 (\cos 35^\circ + 0,3 \cdot \sin 35^\circ) = 1501 \text{ Н.};$$

$$F_{OC} = 1514 (\sin 35^\circ - 0,3 \cdot \cos 35^\circ) = 497 \text{ Н.}$$

### 3.6. Кінематичний розрахунок горизонтально-лопатевого змішувача кормів

Максимально допустиму кутову швидкість обертання лопатей мішалки визначають за залежністю [1;9]:

$$\omega_{L \max} = \sqrt{\frac{g}{R_L}}, \quad (3.21)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Отже,

$$\omega_{L \max} = \sqrt{\frac{9,81}{0,6}} = 4,04 \text{ рад/с.}$$

Колову швидкість переміщення кормової суміші визначають за формулою

$$V_K = \omega_{L \max} \cdot r_{CP}. \quad (3.22)$$

У числовому вигляді:

$$V_K = 4,04 \cdot \frac{1,2}{4} = 1,21 \text{ м/с.}$$

Осьову швидкість переміщення кормової суміші визначають за виразом:

$$V_{OC} = V_K \cdot \cos \alpha_L \cdot \sin \alpha_L; \quad (3.23)$$

Отримаємо:

$$V_{OC} = 1,21 \cdot \cos 35^\circ \cdot \sin 35^\circ = 0,569 \text{ м/с.}$$

Отже, у результаті виконаного кінематичного розрахунку горизонтально-лопатевого змішувача кормів визначено основні параметри руху робочих органів і кормової суміші. Встановлено максимально допустиму кутову швидкість обертання лопатей, за якої забезпечується стійкий режим перемішування без надмірного відцентрового впливу на матеріал. На основі отриманого значення кутової швидкості визначено колову та осьову швидкості переміщення кормової суміші, які характеризують інтенсивність циркуляції компонентів у змішувальній камері.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1. Загальні положення з охорони праці на тваринницьких фермах**

Охорона праці на тваринницьких фермах являє собою комплексну систему правових, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці, збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання виробничих функцій. Її специфіка обумовлена особливостями сільськогосподарського виробництва, зокрема поєднанням експлуатації технологічного обладнання з обслуговуванням біологічних об'єктів, що значно підвищує рівень виробничих небезпек і ризиків.

Процес приготування та змішування кормів є важливою складовою технологічного циклу тваринницького виробництва і характеризується впливом комплексу несприятливих виробничих факторів. Використання механізованих і автоматизованих засобів, таких як кормозмішувачі, транспортери, дробарки та дозатори, суттєво підвищує продуктивність праці, однак одночасно створює небезпеку травмування працівників внаслідок контакту з рухомими та обертовими частинами машин, а також у разі порушення правил їх експлуатації [2;6].

Одним із найбільш значущих шкідливих факторів є підвищена запиленість повітря робочої зони, яка виникає під час роботи з сипучими кормами, такими як зерно, комбікорми та премікси. Кормовий пил може містити органічні та мінеральні домішки, мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності, що при тривалому впливі здатні викликати професійні захворювання органів дихання, алергічні реакції та інші порушення здоров'я.

Важливим фактором виробничого середовища є також підвищений рівень шуму та вібрації, що генерується електродвигунами, редукторами та робочими органами обладнання. Тривалий вплив шуму може призводити до зниження слуху, підвищеної втомлюваності, порушення функцій нервової системи та зниження концентрації уваги, що, у свою чергу, підвищує ймовірність виникнення виробничого травматизму [2].

Крім того, процес змішування кормів часто супроводжується значними фізичними навантаженнями, пов'язаними з ручним переміщенням сировини, завантаженням компонентів та обслуговуванням обладнання. Це може призводити до перевтоми працівників, розвитку захворювань опорно-рухового апарату та зниження загальної працездатності.

Особливу небезпеку становить контакт з біологічними агентами, такими як бактерії, грибки та інші мікроорганізми, що можуть міститися у кормовій сировині. Вони здатні викликати інфекційні та алергічні захворювання, особливо за умов недотримання санітарно-гігієнічних вимог.

Додатковим несприятливим чинником є нестабільний мікроклімат виробничих приміщень, який характеризується коливаннями температури, підвищеною вологістю та недостатньою вентиляцією. Такі умови негативно впливають на терморегуляцію організму працівників, сприяють розвитку простудних захворювань та знижують ефективність праці [6].

## **4.2. Організаційні заходи з охорони праці**

Організаційні заходи є невід'ємною складовою системи управління охороною праці на тваринницьких фермах і спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, запобігання виробничому травматизму, зниження рівня професійної захворюваності та підвищення загальної ефективності виробничої

діяльності. Їх реалізація базується на системному підході, що передбачає належну підготовку персоналу, раціональну організацію трудового процесу, постійний контроль технічного стану обладнання та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту [2;13].

Безпечна експлуатація горизонтального лопатевого кормозмішувача можлива лише за умови належного рівня професійної підготовки працівників, що досягається шляхом проведення систематичного навчання та інструктажів з питань охорони праці.

На підприємствах тваринницької галузі застосовується багаторівнева система інструктажів, яка включає вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі. Вступний інструктаж проводиться з усіма новоприйнятими працівниками та спрямований на ознайомлення з основними вимогами безпеки праці, правилами поведінки на території підприємства, а також порядком дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Первинний інструктаж здійснюється безпосередньо на робочому місці перед початком виконання виробничих завдань і передбачає детальне ознайомлення з будовою кормозмішувального обладнання, його небезпечними зонами, а також правилами безпечної експлуатації.

Повторний інструктаж проводиться з метою закріплення та актуалізації знань працівників не рідше одного разу на шість місяців. Позаплановий інструктаж організовується у випадках змін у технологічному процесі, впровадження нового або модернізованого обладнання, а також після виникнення нещасних випадків чи порушень вимог охорони праці. Цільовий інструктаж здійснюється при виконанні разових робіт підвищеної небезпеки, зокрема під час проведення ремонтних або очисних робіт [2;6].

Навчання персоналу передбачає опанування інструкцій з охорони праці, засвоєння безпечних методів виконання робіт, формування навичок дій у надзвичайних ситуаціях, а також надання першої домедичної допомоги

потерпілим. Допуск працівників до самостійної роботи дозволяється лише після успішного проходження перевірки знань та практичних навичок.

Раціональна організація режимів праці та відпочинку є важливим фактором профілактики виробничого травматизму та збереження працездатності працівників. Вона передбачає дотримання встановлених законодавством норм тривалості робочого часу, які, як правило, не перевищують 40 годин на тиждень, а також забезпечення регламентованих перерв протягом робочої зміни.

Особливу увагу необхідно приділяти чергуванню видів діяльності з різним рівнем фізичного та психоемоційного навантаження, обмеженню тривалості роботи в умовах підвищеного шуму, вібрації та запиленості, а також недопущенню перевтоми працівників. Для операторів кормозмішувального обладнання доцільним є впровадження короткочасних перерв через кожні 2-3 години роботи, використання засобів захисту слуху та оптимізація робочих поз з метою зниження статичних навантажень.

Дотримання раціональних режимів праці та відпочинку сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості помилок у роботі та зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій.

Контроль технічного стану горизонтального лопатевого кормозмішувача є одним із ключових елементів системи забезпечення безпеки праці. Його метою є своєчасне виявлення та усунення несправностей, що можуть призвести до аварій або травмування працівників [2;9].

Система технічного контролю включає проведення періодичних оглядів, організацію планово-попереджувальних ремонтів, а також постійний моніторинг стану основних вузлів і механізмів обладнання. Особлива увага приділяється перевірці справності захисних кожухів, блокувальних пристроїв, систем аварійної зупинки та електрообладнання. Також здійснюється контроль технічного стану робочих органів змішувача (лопатей, валів, підшипників),

перевірка наявності та справності заземлення, а також своєчасне очищення обладнання від залишків кормової маси.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний провести зовнішній огляд обладнання, переконавшись у відсутності сторонніх предметів у робочій камері та перевірити роботу механізмів у холостому режимі. Експлуатація несправного або технічно небезпечного обладнання категорично забороняється, оскільки це створює пряму загрозу життю та здоров'ю працівників.

З метою мінімізації впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм працівників у процесі приготування кормів передбачається обов'язкове застосування засобів індивідуального захисту. Використання ЗІЗ є одним із ключових елементів системи охорони праці, що доповнює технічні та організаційні заходи безпеки і спрямоване на зниження професійних ризиків.

Під час експлуатації горизонтального лопатевого кормозмішувача працівники повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту, вибір яких обумовлюється характером і рівнем небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Зокрема, для захисту від пилу, механічних впливів та забруднень застосовується спеціальний одяг (комбінезони або халати), виготовлений із щільних зносостійких матеріалів. Для запобігання проникненню кормового пилу в органи дихання використовуються фільтрувальні респіратори, які повинні відповідати встановленим стандартам та забезпечувати належний рівень фільтрації аерозолів [2].

Захист органів зору забезпечується застосуванням захисних окулярів закритого типу, які перешкоджають потраплянню пилу та дрібних частинок у очі. Для запобігання механічним пошкодженням шкіри рук використовуються захисні рукавички, що повинні мати достатню міцність і зручність у використанні. В умовах підвищеного рівня шуму обов'язковим є застосування протишумових навушників або вкладишів, які знижують рівень акустичного навантаження до допустимих значень. Крім того, працівники повинні використовувати спеціальне взуття з нековзкою підошвою та захисними

елементами, що зменшує ризик травмування внаслідок падіння або механічного впливу.

Ефективність застосування засобів індивідуального захисту значною мірою залежить від дотримання вимог щодо їх використання. ЗІЗ повинні застосовуватися працівниками на постійній основі під час виконання виробничих операцій, відповідати конкретним умовам праці та характеру виробничих факторів, перебувати у справному стані та утримуватися в належній чистоті. Важливою умовою є своєчасна заміна або технічне обслуговування засобів захисту у разі їх зношення чи втрати захисних властивостей.

Відповідно до вимог законодавства з охорони праці, роботодавець зобов'язаний безкоштовно забезпечувати працівників необхідними засобами індивідуального захисту, організовувати їх облік, зберігання, обслуговування та періодичну перевірку, а також здійснювати постійний контроль за правильністю їх використання. Невиконання цих вимог може призвести до підвищення рівня виробничого травматизму та професійної захворюваності [6].

Таким чином, раціональне та своєчасне застосування засобів індивідуального захисту є важливим чинником забезпечення безпеки праці при експлуатації кормозмішувального обладнання та сприяє збереженню здоров'я працівників.

#### **4.3 Ідентифікація небезпек і факторів ризику**

Ідентифікація небезпек є початковим і одним із найважливіших етапів управління ризиками в системі охорони праці. Вона передбачає систематичне виявлення всіх потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час експлуатації горизонтального лопатевого

кормозмішувача, а також визначення умов їх прояву та можливих наслідків для здоров'я і безпеки працівників.

Процес змішування кормів характеризується наявністю комплексу різномірних небезпек, що можуть бути класифіковані за їх природою та джерелом виникнення [2].

Механічні фактори є одними з найбільш небезпечних при роботі з кормозмішувачем. Вони пов'язані з наявністю рухомих та обертових частин обладнання, зокрема валів, лопатей, шнеків, ремінних передач і приводів. Основними ризиками є:

- захоплення або затягування одягу чи частин тіла працівника;
- травмування внаслідок контакту з робочими органами;
- удари або порізи при обслуговуванні обладнання;
- травми при потраплянні сторонніх предметів у робочу камеру.

Особливо небезпечними є ситуації, коли обслуговування або очищення обладнання проводиться без його повної зупинки та відключення від джерел енергії.

Фізичні фактори: шум, вібрація, запиленість повітря, а також параметри мікроклімату.

Підвищений рівень шуму, що створюється роботою електродвигунів і механізмів, може перевищувати допустимі норми та призводити до погіршення слуху, зниження концентрації уваги і підвищення втомлюваності. Вібрація, яка передається на робочі поверхні та організм працівника, може спричинити функціональні порушення опорно-рухового апарату та нервової системи [6].

Запиленість повітря є характерною для процесів роботи з сипучими кормами. Кормовий пил може містити дрібнодисперсні частинки, мікроорганізми та алергени, що створює ризик розвитку захворювань органів дихання та алергічних реакцій.

Мікрокліматичні умови, зокрема підвищена вологість, температура та недостатня вентиляція, можуть негативно впливати на загальний стан працівників, спричиняти перегрівання або переохолодження організму.

Експлуатація кормозмішувача пов'язана з використанням електроенергії, що створює ризик ураження електричним струмом. Основними причинами виникнення небезпеки є:

- пошкодження ізоляції електропроводки;
- відсутність або несправність заземлення;
- порушення правил експлуатації електрообладнання;
- підвищена вологість, що знижує опір ізоляції.

Ураження електричним струмом може мати тяжкі або смертельні наслідки, тому цей фактор потребує особливої уваги.

Кормовий пил у певних концентраціях може утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші. За наявності джерела запалювання (іскра, перегрів обладнання, коротке замикання) можливе виникнення пожежі або вибуху. До основних факторів ризику належать:

- накопичення пилу у приміщенні;
- несправність електрообладнання;
- відсутність належної вентиляції;
- перегрівання рухомих частин механізмів.

Кормова сировина може містити різноманітні мікроорганізми, включаючи бактерії, грибки та плісняву. Вплив цих факторів може призводити до розвитку інфекційних та алергічних захворювань, особливо при тривалому контакті без використання засобів захисту.

Ергономічні та психофізіологічні фактори

До цієї групи належать:

- значні фізичні навантаження при ручному завантаженні компонентів;
- робота в незручних або вимушених позах;
- монотонність виконуваних операцій;

- нервово-емоційне напруження.

Ці фактори можуть спричиняти швидку втому, зниження уваги та підвищення ймовірності помилкових дій працівника [2;6;13].

Організаційні недоліки також суттєво впливають на рівень безпеки праці.

До них належать:

- недостатній рівень навчання та інструктажу персоналу;
- порушення трудової дисципліни;
- відсутність контролю за технічним станом обладнання;
- недотримання технологічних регламентів;
- невикористання засобів індивідуального захисту.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підкреслює важливість високої якості кормових сумішей для ефективного функціонування тваринницьких виробництв. Організація повноцінної та збалансованої годівлі безпосередньо впливає на продуктивність тварин, їх здоров'я та економічну віддачу господарств.

1. Якість кормових сумішей визначається рівномірністю змішування, фізико-хімічними властивостями компонентів, їх поживною цінністю та вологістю, що робить процес приготування кормів ключовим елементом технології годівлі.

2. Горизонтальні лопатеві та стрічково-лопатеві змішувачі забезпечують ефективну роботу з кормовими компонентами різної насипної густини та вологості, проте існуючі конструкції не завжди гарантують необхідну однорідність суміші та оптимальне енергоспоживання.

3. Дослідження закономірностей процесу змішування дозволяє визначити критичні фактори, що впливають на якість суміші, та встановити оптимальні геометричні параметри і режими роботи обладнання.

4. Розробка принципової технологічної схеми стрічково-лопатєвого змішувача та обґрунтування його конструктивних параметрів сприяють підвищенню ефективності процесу, забезпеченню однорідності кормових сумішей та зниженню енерговитрат.

5. Реалізація запропонованих рішень дозволяє оптимізувати приготування кормів, підвищити продуктивність тваринницьких господарств та покращити їх техніко-економічні показники, що є важливою умовою сталого розвитку галузі.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Р. Б., Хомик Н. І., Жаровський О. С., Довбуш Т. А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навч. посіб. до лабораторних робіт. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
2. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
3. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Опір матеріалів : навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 220 с.
4. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь Г. Б. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів // Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 23–24 верес. 2021 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. С. 67–68.
5. Дячун А. Є., Довбуш Т. А., Брикса А. О., Никитюк А. Г. Шнеки для змішування із спеціальними елементами // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 28–29 трав. 2025 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 128–129.
6. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : навч. посіб. – Вид. 2-ге, стереотип. – Львів : Афіша, 2000. – 348 с.
7. Кісільов Р. В. Теоретичні дослідження процесу змішування кормів стрічково-лопатеvim змішувачем // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць. – Кіровоград : КНТУ, 2011. – Вип. 24, ч. 1. – С. 167–175.
8. Кісільов Р. В., Лузан П. Г., Богатирьов Д. В., Нестеренко О. В. Дослідження процесу сумішоутворення лопатеvim змішувачем для ВРХ // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин :

загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 52. – С. 66–72. DOI: 10.32515/2414-3820.2022.52.66-72.

9. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. Ч. 1. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.

10. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь О. П. Деталі машин : курс лекцій для студентів заочної форми навчання. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 160 с.

11. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.

12. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Сташків М. Я., Бабій А. В., Довбуш Т. А. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.

13. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Блозва І. Й., Довбуш А. Д. Вступ до фаху : навч. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 348 с.

14. Хомик Н. І., Ткаченко І. Г., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до курсового проєктування для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 100 с.

15. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А. Навчальна практика : метод. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 140 с.

16. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Антончак Н. А. Основи агрономії : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 320 с.

17. ХОМИК Н. І., ЦЬОНЬ Г. Б., ДОВБУШ Т. А., ОЛЕКСЮК В. П. Основи агрономії : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 с.
18. Babii A., Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Tson H., Oleksyuk V. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor // *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 203–210. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.01.025.
19. Dovbush T., Dovbush A., Khomyk N., Tson H. Substantiation of flexible screw conveyor metal consumption under productivity maintenance conditions // *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 33–42.
20. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters // *Scientific Journal of TNTU*. 2024. Vol. 115, No. 3. P. 112–121.
21. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters // *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2022. Vol. 108, No. 4. P. 5–15.
22. Hevko I., Liashuk O., Tson O., Dovbush T., Zalutskyi S., Stanko A. Installation for the investigation of screw working bodies with elastic surfaces and the results of their experimental tests // *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 98–109.
23. Hevko R., Lyashuk O., Dzyura V., Dovbush T., Trokhaniak O., Liashko A. Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor // *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021. P. 479–487.
24. Rybak T., Popovych P., Khomyk N., Dovbush T., Tson H. Simulation calculations on quasistatic strength of structural elements of heavily loaded agricultural machines // *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka*. 2013. P. 321–326.
25. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. Yu. Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds // *Agricultural Science and Practice*. – 2024.

## ДОДАТКИ