МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічної лінії приготування кормів на свинофермі з розробкою змішувача кормів безперервної дії»

Виконав: студент 4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Мельник Антон Віталійович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н, доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП **5**

РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СВИНОФЕРМИ **7**

1.1. Аналіз умов функціонування тваринницького господарства 7

1.2. Сучасні методи підготовки кормів до згодовування 8

1.3. Дослідження процесів подрібнення зернових кормів 12

1.4. Висновки за розділом 18

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ КОРМОПРИГОТУВАННЯ **19**

2.1. Обґрунтування вибору способу подрібнення зерна 19

2.2. Параметри якості кормових сумішей 20

2.3. Основні дані до розрахунку 22

2.4. Розрахунок продуктивності кормолінії 24

2.5. Побудова технологічної схеми процесу 25

2.6. Висновки за розділом 28

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ СТРІЧКОВО-ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ **29**

3.1. Обґрунтування розробки змішувача 29

3.2. Аналіз вихідних даних для проєктування 30

3.3. Визначення робочих параметрів обладнання 33

3.4. Обчислення пропускної здатності стрічково-лопатевого змішувача 37

3.5. Висновки за розділом 38

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ **40**

4.1. Охорона праці під час приготування кормів 40

4.2. Пожежна безпека на кормовиробництві 41

4.3. Забезпечення безпеки виробничого процесу у випадку аварійних ситуацій 42

4.4. Висновки за розділом 44

РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ **46**

ВИСНОВКИ **49**

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ **51**

ВСТУП

Ефективність сучасного свинарства безпосередньо залежить від якості годівлі, частка якої у собівартості продукції тваринництва сягає 70–80%. На сьогодні технологічні лінії приготування кормів на багатьох вітчизняних фермах характеризуються високою енергоємністю та фізичним зносом обладнання. Ключовою проблемою залишається неможливість досягнення високого ступеня однорідності суміші при використанні застарілих змішувачів періодичної дії, що призводить до незбалансованості раціону та зниження темпів приросту живої маси тварин.

Удосконалення процесів приготування кормів шляхом переходу до безперервних технологій змішування є пріоритетним напрямом агроінженерії. Впровадження змішувачів безперервної дії дозволяє не лише стабілізувати якість комбікорму, а й суттєво оптимізувати потік сировини, зменшити питомі енерговитрати та підвищити загальну рентабельність виробництва.

Мета роботи — підвищення ефективності приготування комбікормів на свинофермі шляхом удосконалення технологічної лінії та розробки конструкції високоефективного змішувача безперервної дії.

Об’єкт дослідження — технологічний процес приготування багатокомпонентних кормових сумішей для свиней.

Предмет дослідження — конструктивні та режимні параметри змішувача кормів безперервної дії.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні **завдання**:

1. проаналізувати сучасний стан виробничої діяльності підприємства та виявити недоліки існуючої лінії приготування кормів;
2. виконати огляд існуючих конструкцій змішувачів та обґрунтувати переваги безперервного способу змішування;
3. розрахувати основні параметри технологічної лінії згідно із зоотехнічними вимогами до годівлі свиней;
4. розробити конструктивно-технологічну схему змішувача безперервної

дії та виконати його основні розрахунки;

5. оцінити питання охорони праці та провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленого змішувача у виробничий процес свиноферм, що забезпечить зниження експлуатаційних витрат та покращення конверсії корму за рахунок підвищення його однорідності.

РОЗДІЛ 1
ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СВИНОФЕРМИ

1.1. Аналіз умов функціонування тваринницького господарства

Досліджуване свинарське господарство є сучасним агропромисловим комплексом замкнутого циклу, що спеціалізується на вирощуванні та відгодівлі свиней м'ясних порід. Ефективність його функціонування забезпечується раціональною виробничою структурою, чітким зонуванням території та застосуванням елементів автоматизації технологічних процесів.

Виробнича структура господарства включає головний корпус для утримання тварин, кормоприготувальний цех, складське господарство та цех утилізації відходів. Головний корпус є каркасною утепленою будівлею площею 10000 м² і розрахований на одночасне утримання до 2000 голів свиней. Він оснащений автоматизованою системою підтримання мікроклімату, яка забезпечує регулювання температурно-вологісних параметрів відповідно до вікових груп тварин. Кормоприготувальний цех площею 500 м² є ключовою технологічною ланкою підприємства, де розміщене основне обладнання для підготовки кормів, зокрема молоткові дробарки, змішувачі та вузли гранулювання, при цьому саме цей підрозділ є об'єктом модернізації в межах проєкту, особливо в частині процесу змішування кормових компонентів.

Складське господарство включає склад зернової сировини площею 700 м² та склад готової продукції площею 500 м², які обладнані системами активної вентиляції та контролю мікроклімату для збереження якості кормів. Цех утилізації відходів площею 400 м² забезпечує переробку до 100 тонн гною на добу із застосуванням систем гідровидалення та біогазових установок, що підвищує екологічну безпеку виробництва. Технологія виробництва базується на інтенсивній системі вирощування свиней, де основні процеси годівлі та напування максимально автоматизовані, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактору та забезпечити точність дотримання раціонів.

Адміністративно-побутовий корпус, який охоплює загальну площу в 300 квадратних метрів, забезпечує весь необхідний функціонал, вміщуючи у собі сучасні офісні приміщення, комфортабельні зони для відпочинку персоналу, а також повноцінні санітарно-гігієнічні вузли та оснащені душові кабіни.

Автоматизовані системи кормороздачі забезпечують багатокомпонентне годування, яке є важливим для інтенсивного росту тварин. Інфраструктура господарства включає автономне водопостачання з артезіанської свердловини, централізоване енергозабезпечення з резервними дизель-генераторами для безперервної роботи систем життєзабезпечення та вентиляції, а також розвинену мережу під'їзних доріг із твердим покриттям для стабільної логістики кормів і продукції.

Виробничий цикл на сучасному свинарському комплексі охоплює ключові етапи, такі як забезпечення кормами, утримання поголів'я, відтворення та генетичне вдосконалення, а також ветеринарно-санітарний контроль. Програми відтворення та селекційно-племінної роботи ґрунтуються на використанні генетично високопродуктивних порід та впровадженні інноваційних біотехнологічних методів. Для підтримки здоров'я тварин здійснюється системний ветеринарний моніторинг, комплексні програми імунопрофілактики та запобігання поширенню інфекційних захворювань.

Загалом аналіз умов функціонування свідчить про високий рівень організації виробництва, однак виявляє потенціал для подальшої оптимізації процесів кормоприготування, зокрема шляхом впровадження змішувача безперервної дії, що дозволить підвищити стабільність якості комбікормів і загальну ефективність роботи підприємства.

1.2. Сучасні методи підготовки кормів до згодовування

Ефективність сучасного свинарства значною мірою залежить від використання повнораціонних комбікормів, які забезпечують інтенсивний ріст

тварин і високу конверсію корму. Формування раціонів здійснюється з урахуванням зоотехнічних вимог щодо поживності, енергетичної збалансованості та санітарної безпеки кормових сумішей. Основою енергетичної частини раціону є зернові культури, до яких належать кукурудза, ячмінь, пшениця та овес. Вони формують енергетичне ядро корму завдяки високому вмісту легкозасвоюваних вуглеводів. Кукурудза характеризується найвищою енергетичною цінністю, однак потребує якісного подрібнення для підвищення доступності поживних речовин. Ячмінь і пшениця доповнюють раціон білковими фракціями та вітамінами групи В. З інженерної точки зору важливо враховувати різні фізико-механічні властивості цих компонентів, зокрема сипучість та об’ємну масу, що впливає на точність роботи дозувальних систем змішувального обладнання.

Білкова складова раціону забезпечується за рахунок рослинних і тваринних компонентів, серед яких основне місце займає соєвий шрот як джерело високоякісного білка з оптимальним амінокислотним складом, зокрема за вмістом лізину. Рибне борошно використовується як додаткове джерело легкозасвоюваних білків і незамінних жирних кислот, що сприяють підвищенню імунітету та інтенсифікації обмінних процесів у тварин. Підготовка кормових компонентів включає їх подрібнення, точне дозування та ретельне перемішування до досягнення високого ступеня однорідності, що становить не менше 95–98%. Саме стадія змішування є визначальною з точки зору рівномірного розподілу поживних речовин, оскільки від неї залежить забезпечення кожної тварини повноцінним раціоном у кожній порції корму.

Добавки та мікрокомпоненти відіграють важливу роль у підвищенні поживної цінності та ефективності засвоєння кормів, оскільки забезпечують оптимізацію процесів травлення і біодоступності нутрієнтів. До їх складу входять функціональні інгредієнти, зокрема джерела клітковини, біологічно активні речовини та вітамінно-мінеральні комплекси. Клітковинна складова, представлена трав’яним борошном (люцерною) або висівками, сприяє нормалізації перистальтики кишечника та запобігає порушенням травлення у

тварин. Біологічно активні добавки, такі як ферменти, пробіотики та пребіотики, позитивно впливають на мікрофлору шлунково-кишкового тракту, підвищуючи ступінь засвоєння поживних речовин і загальну ефективність годівлі. Особливе значення має вітамінно-мінеральне збагачення раціонів, яке здійснюється за рахунок введення премікcів, що містять вітаміни груп A, D, E, B, а також макро- і мікроелементи, такі як кальцій, фосфор, магній, цинк і залізо. Оскільки ці компоненти вводяться у незначних кількостях, до змішувального обладнання висуваються підвищені вимоги щодо забезпечення рівномірного розподілу мікродобавок у всьому об’ємі кормової суміші, адже навіть незначні відхилення можуть негативно впливати на розвиток скелетної системи, нервової діяльності та загальної резистентності організму свиней.

Сухе змішування є базовим і найпоширенішим методом у комбікормовому виробництві. Його сутність полягає у послідовному або паралельному дозуванні попередньо подрібнених компонентів у сухому стані з подальшим їх рівномірним перемішуванням до отримання однорідної маси. Основними перевагами даного методу є висока продуктивність процесу, відносна простота технологічного обладнання та швидка адаптація рецептур під потреби виробництва. Водночас ключовою технологічною вимогою є точність дозування та забезпечення стабільної гомогенності суміші, оскільки наявність компонентів із різною густиною та фракційним складом може призводити до сегрегації. Особливо критичним це є при введенні мікродобавок і премікcів у значний об’єм зернової маси, що вимагає високої ефективності змішувального обладнання.

Екструдування відноситься до високотехнологічних методів гідротермічної обробки кормової сировини. Процес здійснюється під дією високого тиску та температури з подальшим різким перепадом тиску при виході матеріалу з матриці, що викликає його «вибухове» розширення. Це призводить до руйнування клітинної структури зерна, клейстеризації крохмалю та підвищення доступності поживних речовин. Отримані екструдати характеризуються пористою структурою, високою перетравністю та

практичною стерильністю, що робить цей метод особливо ефективним для годівлі поросят і молодняку.

Таким чином, аналіз сучасних методів підготовки кормів свідчить про їх технологічну різноманітність та суттєвий вплив на ефективність свинарського виробництва. Найбільш критичним етапом у більшості технологічних схем залишається процес змішування, який визначає однорідність раціону та точність розподілу поживних речовин, що обґрунтовує необхідність удосконалення змішувального обладнання.

Впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП) на сучасних комбікормових лініях забезпечує перехід до принципово нового рівня контролю якості виробництва. Завдяки використанню потокових аналізаторів, вологомірів, температурних датчиків та інших засобів онлайн-моніторингу стає можливим здійснювати безперервний контроль параметрів сировини та готової продукції в режимі реального часу. Це дозволяє суттєво зменшити вплив людського фактору, підвищити точність дозування компонентів та забезпечити стабільність хімічного складу комбікормів.

Такі корми повинні характеризуватися максимальною однорідністю структури та рівномірністю розподілу мікродобавок, оскільки навіть незначні локальні відхилення у вмісті ферментів, вітамінів або амінокислот можуть негативно впливати на швидкість росту та розвиток молодняку. Саме тому технологічно обґрунтованим є застосування безперервних систем змішування з високою точністю дозування компонентів, що забезпечує стабільну якість кормової суміші на кожному етапі її формування.

Технологічні особливості годівлі свиней істотно змінюються залежно від періоду вирощування, що зумовлює різні вимоги як до складу раціонів, так і до процесів їх приготування та змішування. Період відлучення та дорощування є найбільш технологічно чутливим етапом, оскільки перехід від материнського молока до твердих кормів супроводжується значним фізіологічним і кормовим стресом. У цей період використовуються престартерні та стартові комбікорми з підвищеною енергощільністю та високим вмістом легкозасвоюваних білків. З

технологічної точки зору приготування таких сумішей вимагає забезпечення максимальної однорідності не менше 98%, оскільки споживання корму поросятами є обмеженим, а отже кожна порція повинна містити повний набір поживних і біологічно активних речовин без локальних відхилень у концентрації.

Системний підхід до організації годівлі на сучасному етапі включає три ключові складові. По-перше, це точність рецептури, яка передбачає сувору відповідність вмісту амінокислот, енергії, вітамінів і мінеральних речовин фактичним фізіологічним потребам відповідної групи тварин. По-друге, технологічна гнучкість, що забезпечує можливість оперативного переналаштування кормоприготувальної лінії під різні статево-вікові групи без тривалих простоїв та втрати продуктивності. По-третє, технічна досконаліть обладнання, яка реалізується через застосування автоматизованих систем керування, дозування та контролю мікроклімату, що дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів на ефективність конверсії корму. Важливим наслідком підвищення точності змішування є екологізація виробництва та зменшення антропогенного навантаження на довкілля. Чим більш однорідною та збалансованою є кормова суміш, тим повніше вона засвоюється організмом тварин, що призводить до зниження кількості неперетравлених залишків та, відповідно, зменшення концентрації азотистих сполук в продуктах життєдіяльності.

Отже, перехід від традиційних механічних ліній до сучасних інтелектуальних систем кормоприготування є необхідною умовою підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності свинарських підприємств.

1.3. Дослідження процесів подрібнення зернових кормів

Процес подрібнення зернових компонентів у свинарстві є однією з

ключових технологічних операцій, що визначає ступінь доступності поживних речовин для ферментативної системи тварин та впливає на однорідність подальших етапів приготування корму. Основною метою механічного подрібнення є збільшення питомої поверхні частинок, що сприяє прискоренню дії травних соків та підвищенню конверсії корму. У сучасних агроінженерних системах вибір способу подрібнення базується на фізико-механічних властивостях сировини та вимогах до гранулометричного складу готового продукту. Основними способами механічної деструкції зернового матеріалу є молоткове, вальцьове, дискове та ударно-відцентрове подрібнення.

Молоткове подрібнення є найбільш універсальним і поширеним методом у кормовиробництві. Процес у молоткових дробарках базується на руйнуванні зерна під дією ударних навантажень швидкообертових молотків, а також терті матеріалу об деку та ситову поверхню. Перевагами даного способу є висока продуктивність та можливість переробки широкого спектра зернових культур (пшениця, ячмінь, кукурудза) без суттєвого переналагодження обладнання. До недоліків належать підвищена енергоємність процесу, інтенсивне пилоутворення та нерівномірність гранулометричного складу, що призводить до утворення надлишкової дрібної фракції (мучки). Також спостерігається значне абразивне зношування робочих органів, що вимагає регулярного технічного обслуговування.

Подрібнення вальцьове реалізується за допомогою вальцьових млинів і базується на деформації стиснення та зсуву зернівки між двома робочими поверхнями, що обертаються назустріч одна одній з різними лінійними швидкостями. На відміну від ударного способу, воно забезпечує більш однорідний гранулометричний склад із мінімальним вмістом пилоподібної фракції, що є важливим для профілактики захворювань шлунково-кишкового тракту у свиней. Додатковою перевагою є зниження питомих енерговитрат на 20–30% у порівнянні з молотковими дробарками. Вальцьові системи дозволяють точно регулювати ступінь подрібнення шляхом зміни зазору між вальцями, що забезпечує адаптацію помелу до різних вікових груп тварин.

Основним обмеженням методу є чутливість до вологості сировини: при вологості понад 17% або підвищеному вмісті жирових домішок можливе забивання міжвальцьового простору, що призводить до явища «засалювання» та зниження продуктивності обладнання.

Застосування дискових млинів базується на використанні робочих органів у вигляді дисків, що обертаються, для інтенсивного подрібнення зернової маси. Дана технологія характеризується значною експлуатаційною надійністю та тривалим терміном служби основних вузлів. Завдяки гнучким налаштуванням робочого зазору дискові дробарки дозволяють отримувати продукт різного ступеня дисперсності, що робить їх універсальними для обробки зернових культур із різними показниками вологості. Попри очевидні переваги, впровадження таких систем потребує значних капіталовкладень через високу вартість обладнання, а також систематичного технічного догляду для збереження стабільності виробничих показників.

Ударний метод реалізується в спеціалізованих млинах, де деструкція зерна відбувається внаслідок серії високошвидкісних зіткнень із твердими металевими поверхнями. Такий підхід гарантує швидке досягнення дрібнофракційного стану сировини, що є критично важливим для великих тваринницьких комплексів із великими обсягами споживання корму. Висока продуктивність ударних установок дозволяє ефективно обробляти значні масиви зерна за мінімальні проміжки часу. Разом із тим, інтенсивність ударної дії часто провокує надмірне пилоутворення в робочій зоні та може викликати локальний перегрів матеріалу, що негативно позначається на збереженні вітамінів та інших поживних компонентів у складі готового раціону.

Вибір конкретної технології подрібнення безпосередньо залежить від масштабів підприємства та специфічних вимог до гранулометричного складу корму. Раціональне поєднання високої продуктивності з енергоощадними режимами роботи обладнання дозволяє оптимізувати процес приготування комбікормів, забезпечуючи їхню відповідність зоотехнічним нормам.

Поряд із класичними підходами сучасні підприємства дедалі частіше

впроваджують комбіновані технології деструкції сировини, що дозволяють досягти еталонної якості продукту шляхом поєднання різних фізичних принципів впливу. Прикладом такої інтеграції є двоступенева схема обробки, за якої зернова маса спочатку проходить через вальцьовий млин для попереднього розплющування, після чого остаточно доводиться до потрібної консистенції в молотковій дробарці. Такий підхід мінімізує енерговитрати та забезпечує оптимальну структуру корму.

Процес диспергування сипких матеріалів є фундаментом багатьох індустріальних циклів, охоплюючи гірничодобувну, хімічну, харчову та фармацевтичну галузі. Основне завдання цієї операції полягає в цілеспрямованому зменшенні геометричних розмірів часток для інтенсифікації наступних хімічних реакцій, поліпшення умов зберігання або підвищення біодоступності продукту. Вибір конкретного механізму руйнування диктується фізико-механічними властивостями оброблюваного тіла та заданим ступенем подрібнення.

Найбільш універсальним залишається механічне подрібнення, яке реалізується в широкому спектрі дробильно-розмельного обладнання. Залежно від масштабів зміни лінійних розмірів часток виділяють грубу, середню та тонку стадії обробки. Для первинної деструкції великих фрагментів твердих порід найчастіше застосовуються щокові дробарки, робота яких базується на принципі стиснення матеріалу між нерухомою та рухомою плитами. Проста та надійна конструкція цих агрегатів забезпечує ефективне руйнування навіть найбільш міцних матеріалів на початкових етапах переробки. Більш досконалим варіантом для отримання середніх та дрібних фракцій є конусні дробарки, що забезпечують високу рівномірність готового продукту. Механізм їхньої дії полягає в роздавлюванні та стисненні сировини в кільцевому просторі між рухомим конусом і стаціонарною чашею. Завдяки безперервності процесу та здатності працювати з матеріалами високої твердості, конусні установки є базовим елементом технологічних ліній у будівельній та видобувній промисловості, де вимагається стабільний гранулометричний склад кінцевого

продукту.

Досягнення високого ступеня дисперсності матеріалів у промислових масштабах реалізується переважно в кульових та стрижневих млинах. Конструктивно кульовий млин являє собою горизонтальний барабан, що обертається, де робочим тілом виступають сталеві кулі або керамічні елементи. Під дією відцентрової сили та сили тяжіння ці тіла піднімаються на певну висоту і падають, руйнуючи матеріал ударом та стиранням. Аналогічний принцип закладено в основу стрижневих млинів, проте використання сталевих стрижнів замість куль дозволяє отримати більш рівномірний зерновий склад без надмірного переподрібнення. Такі агрегати є незамінними у виробництві цементу, кераміки та при збагаченні корисних копалин.

Ефективну деструкцію матеріалів низької та середньої міцності, таких як вапняк, гіпс або вугілля, забезпечують методи ударної дії. Молоткові дробарки використовують енергію кінетичного удару масивних молотків, закріплених на роторі, що дозволяє швидко перетворювати грубу сировину на дрібнофракційний продукт. Роторні дробарки, своєю чергою, використовують високошвидкісні лопаті (била), які відкидають матеріал на відбивні плити камери подрібнення. Це створює потужні ударні хвилі всередині структури матеріалу, що призводить до його миттєвого руйнування вздовж ліній природних напружень. Для обробки в'язких або м'яких структур найдоцільнішим є метод стирання, що втілений у конструкціях вальцьових млинів. Процес подрібнення відбувається в робочій зоні між двома циліндричними валами, що обертаються назустріч один одному. Такий механічний вплив забезпечує делікатне руйнування зернових культур, глинистих матеріалів та деяких видів палива, гарантуючи отримання заданої фракції з мінімальним виходом пилу.

Інноваційним вектором розвитку технологій подрібнення є використання ультразвукової хвилі та високочастотних вібрацій. Ультразвукове подрібнення базується на створенні зон змінного тиску, які провокують розрив міжмолекулярних зв'язків у структурі речовини. Цей метод дозволяє досягати

нанорозмірної дисперсності, що є критично важливим для фармацевтичної галузі та тонкого органічного синтезу, де традиційні механічні методи є недостатньо ефективними або призводять до небажаного забруднення продукту продуктами зношування робочих органів.

Підсумовуючи, можна сказати, що кожен із розглянутих методів має свої сильні та слабкі сторони. Вибір конкретного способу подрібнення завжди залежить від того, наскільки твердим чи крихким є матеріал, а також від того, наскільки дрібний та чистий продукт ми хочемо отримати в результаті. Правильно підібрана технологія дозволяє не лише економити електроенергію, а й значно покращити якість готового виробу чи корму.

Під час безпосереднього виконання операції подрібнення сипких матеріалів критично важливо контролювати основні технологічні параметри, серед яких швидкість обертання робочих органів, робочий тиск, температурний режим та тривалість впливу на сировину. Грамотне налаштування цих показників дозволяє не лише досягти потрібної дрібності фракції, а й гарантує стабільну роботу всієї лінії без збоїв. Окрему увагу слід приділяти стану обладнання, оскільки постійні механічні навантаження призводять до природного зносу молотків, ножів чи вальців. Регулярне обслуговування та вчасна заміна деталей допомагають уникнути зниження продуктивності та погіршення якості готового продукту.

Таким чином, процес подрібнення зернових компонентів є базовою підготовчою операцією у виробництві комбікормів, що визначає ефективність подальших технологічних етапів, зокрема змішування та гранулювання. Досягнення заданого гранулометричного складу забезпечує стабільність рецептури, рівномірність розподілу поживних речовин та підвищує ефективність роботи змішувального обладнання, що є ключовим для реалізації сучасних технологій точного тваринництва.

1.4. Висновки за розділом

Аналіз сучасного стану приготування кормів для свиней дозволяє зробити висновок, що ефективність тваринництва напряму залежить від точності підготовки кожного компонента раціону. Дослідження фізіологічних потреб тварин показало, що раціон має бути динамічним і змінюватися залежно від віку та стану свиней, що вимагає від обладнання високої точності та можливості швидкого переналаштування.

Процес подрібнення зерна є базовим етапом, який визначає, наскільки якісно тварини засвоять поживні речовини. Розгляд різних типів обладнання, таких як молоткові, вальцьові та дискові дробарки, підтвердив, що вибір конкретного методу залежить від вимог до розміру часток та виду сировини. Важливо забезпечити такий ступінь подрібнення, при якому корм не перетворюється на пил, але і не залишається занадто грубим, оскільки це безпосередньо впливає на здоров’я поголів’я та витрати кормів. Забезпечення високої якості готової суміші можливе лише за умови ефективного змішування всіх інгредієнтів. Нерівномірний розподіл вітамінів чи добавок у загальній масі може призвести до зниження продуктивності або хвороб тварин. Використання автоматизованих систем дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, стабілізувати якість продукції та значно знизити енергетичні витрати господарства. Окрім економічної вигоди, сучасний підхід до приготування кормів сприяє екологічній безпеці виробництва через зменшення кількості відходів.

Таким чином, проведений огляд і аналіз існуючих технологій підтверджують актуальність розробки більш досконалого змішувального обладнання. Це дозволить оптимізувати процес приготування комбікормів, забезпечити їхню високу гомогенність та підвищити загальну рентабельність свиноферми. Отримані результати стануть основою для подальшого конструкторського розрахунку та проектування змішувача у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ КОРМОПРИГОТУВАННЯ

2.1. Обґрунтування вибору способу подрібнення зерна

Вибір молоткового способу подрібнення для приготування кормів у свинарстві обумовлений низкою практичних переваг, які роблять цей метод найбільш ефективним для сучасних господарств. Насамперед молоткові дробарки вирізняються високою продуктивністю та здатністю переробляти великі обсяги сировини за короткий проміжок часу. Для великих свиноферм, де щоденна потреба в кормах є значною, швидкість підготовки зерна стає вирішальним фактором, що гарантує безперебійне годування тварин та стабільну роботу всього комплексу.

Важливою рисою молоткового обладнання є його універсальність, оскільки воно дозволяє однаково успішно обробляти кукурудзу, пшеницю, ячмінь та інші культури. Це дає можливість господарству гнучко підходити до вибору інгредієнтів залежно від їхньої наявності чи ціни на ринку. Якість отриманого продукту при цьому залишається високою: швидкі удари молотків забезпечують однорідний склад дерті. Така рівномірність є критично важливою для травлення свиней, оскільки вона сприяє кращому засвоєнню поживних речовин і запобігає виникненню розладів шлунку, які часто трапляються через наявність занадто великих часток у кормі.

Конструкція молоткових дробарок досить проста, що значно полегшує їхню експлуатацію та технічне обслуговування. Процес заміни основних робочих органів, таких як молотки чи сита, не потребує складних маніпуляцій чи тривалих зупинок виробництва. Це дозволяє суттєво знизити витрати на сервіс та мінімізувати простої обладнання. Висока ефективність у поєднанні з помірним споживанням енергії робить цей метод економічно вигідним, допомагаючи знизити собівартість готового корму та підвищити прибутковість

ферми.

Додатковою перевагою є можливість легко регулювати розмір часток корму шляхом простої заміни сит із різними отворами. Це дозволяє адаптувати структуру раціону під потреби різних груп тварин — від маленьких поросят до дорослих свиней. Сучасні моделі таких дробарок часто оснащуються автоматикою, яка контролює знос деталей та запобігає перегріву, що робить роботу техніки надійною та безпечною.

Отже, молоткове подрібнення є раціональним вибором, який поєднує в собі потужність, надійність та гнучкість, забезпечуючи господарство якісною кормовою базою.

2.2. Параметри якості кормових сумішей

Дотримання зоотехнічних вимог при використанні молоткових дробарок є необхідною умовою отримання якісного корму, що повністю відповідає фізіологічним потребам свиней на різних етапах їх розвитку. Ці вимоги охоплюють комплекс взаємопов’язаних показників, серед яких ключове значення мають поживний склад, ступінь подрібнення, вологість сировини, рівномірність змішування та санітарно-гігієнічний стан готової продукції.

Основою повноцінного раціону є його збалансованість за основними поживними речовинами. До них належать білки, жири, вуглеводи, вітаміни та мінеральні елементи, які забезпечують нормальний перебіг обмінних процесів в організмі тварин. Енергетичну базу комбікормів формують зернові культури, зокрема кукурудза, ячмінь та пшениця, які характеризуються високим вмістом легкозасвоюваних вуглеводів. Білкова складова раціону забезпечується за рахунок соєвого шроту, соняшникового шроту та рибного борошна, які містять незамінні амінокислоти, необхідні для інтенсивного росту м’язової тканини. Додатково до складу вводяться мінеральні компоненти (кальцій, фосфор, магній, залізо, цинк), що відіграють важливу роль у формуванні кісткової

системи, ферментативної активності та імунного статусу тварин.

Одним із найважливіших технологічних параметрів, що формується на стадії подрібнення, є ступінь дисперсності зернового матеріалу. Саме він визначає площу контакту корму з травними ферментами та швидкість його засвоєння. Оптимальний розмір частинок забезпечує рівномірне травлення та стабільне надходження поживних речовин. Надмірно дрібний помел призводить до утворення пилової фракції, що не лише знижує технологічну якість корму, але й може спричиняти подразнення дихальних шляхів у тварин та підвищувати ризик респіраторних захворювань. Натомість занадто грубий помел зменшує площу засвоєння поживних речовин і призводить до їх неповного використання організмом. У зв'язку з цим обладнання для подрібнення повинно забезпечувати можливість гнучкого регулювання фракційного складу корму залежно від вікової групи та фізіологічного стану тварин.

Важливим технологічним показником є вологість кормової сировини та готової суміші. Оптимальний діапазон вологості становить 10–14%, що забезпечує стабільність зберігання та запобігає розвитку небажаної мікрофлори. Підвищена вологість створює сприятливі умови для розвитку пліснявих грибів і бактерій, що призводить до псування корму та утворення мікотоксинів. Занадто сухий корм, у свою чергу, характеризується підвищеним пиловиділенням і зниженням біологічної цінності через втрати летких компонентів. Тому контроль вологості є обов'язковим елементом технологічного процесу.

Окрему роль у підвищенні ефективності годівлі відіграють функціональні добавки, до яких належать ферментні препарати, пробіотики та пребіотики. Ферменти сприяють розщепленню складних органічних сполук, підвищуючи засвоюваність поживних речовин. Пробіотики та пребіотики стабілізують мікрофлору шлунково-кишкового тракту, що позитивно впливає на імунітет та загальний стан здоров'я тварин. З технологічної точки зору важливо забезпечити рівномірний розподіл цих компонентів у загальній масі корму, оскільки їх ефективність залежить від точності дозування та

гомогенності суміші.

Не менш важливими є санітарно-гігієнічні вимоги до процесу приготування кормів. Уся сировина повинна проходити контроль на відсутність токсичних домішок, пестицидів, важких металів та мікробіологічного забруднення. Технологічне обладнання (дробарки, змішувачі, транспортери) повинно регулярно очищуватися та дезінфікуватися для запобігання накопиченню залишків корму і розвитку патогенних мікроорганізмів. Окрему увагу слід приділяти умовам зберігання готових кормів, де необхідно забезпечити контроль температури, вологості та вентиляції.

З економічної точки зору ефективність процесу визначається продуктивністю обладнання, енергоспоживанням та витратами на обслуговування. Використання сучасних молоткових дробарок із оптимізованою конструкцією робочих органів дозволяє знизити питомі енергетичні витрати при збереженні високої продуктивності. Це безпосередньо впливає на собівартість кормів і підвищує загальну рентабельність свинарського виробництва.

Таким чином, комплексне дотримання зоотехнічних, технологічних і санітарних вимог у процесі приготування кормів є ключовою умовою стабільного функціонування свинарського господарства. Воно забезпечує не лише високу продуктивність тварин, але й ефективне використання кормових ресурсів та підвищення економічної ефективності виробництва.

2.3. Основні дані до розрахунку

Для проведення подальших технологічних розрахунків і проектування змішувача необхідно спиратися на вихідні дані, що базуються на реальному обсязі виробництва та біологічних потребах тварин. Основою для розрахунку продуктивності лінії приготування кормів є фактичне поголів'я свиней на фермі та норми їхньої годівлі.

У таблиці 2.1 наведено структуру поголів’я за технологічними групами. Ці дані дозволяють визначити загальну кількість тварин, яку необхідно забезпечити кормами щоденно.

Таблиця 2.1

Структура поголів'я свиней та місткість утримання на тваринницькому комплексу

Категорія тварин / Виробнича група	Загальна проєктна місткість місць, од.	Місткість за виробничими приміщеннями, од.	Фактична чисельність поголів'я, особин
Відгодівельне поголів'я	1500	400/500/600	1251
Молодняк на дорощуванні	500	500	489
Ремонтний молодняк	250	250	210
Поросні свиноматки	200	200	176
Маточник	300	300	267
Кнури-плідники	50	50	12
Свиноматки сухостійного періоду та ранньої супоросності	200	200	182

Наступним кроком є врахування добової потреби в кормах для кожної групи тварин. У таблиці 2.2 представлені норми споживання, які є критично важливими для визначення необхідної потужності молоткової дробарки та змішувача.

Таблиця 2.2

Середні добові норми споживання корму для різних технологічних груп свиней

Середня добова норма споживання корму, кг/особину	Категорія тварин
10,0	Кнури-плідники
2,2	Молодняк для відтворення
1,4	Поросята періоду дорощування
4,0	Поголів'я на відгодівлі
3,2	Поросні свиноматки
0,4	Поросята в молочний період (сисуни)
5,0	Лактуючі свиноматки
2,7	Умовно-поросні та холості свиноматки

Важливим аспектом проєктування є суворе дотримання зоотехнічних

вимог під час подрібнення та змішування. Отриманий за допомогою молоткової дробарки продукт повинен бути збалансованим за поживними речовинами, мати стабільний рівень вологості та оптимальний розмір часток для кращого засвоєння. Також у розрахунках необхідно враховувати можливість введення функціональних добавок і забезпечення санітарної чистоти обладнання.

Таким чином, наведені дані про кількість тварин та їхній раціон стають фундаментом для визначення продуктивності обладнання. Це дозволяє гарантувати високу якість кормів, що безпосередньо впливає на здоров'я поголів'я та загальну економічну ефективність господарства.

2.4. Розрахунок продуктивності кормолінії

Для правильного вибору обладнання та забезпечення стабільної роботи ферми необхідно розрахувати продуктивність лінії приготування кормів. Цей показник безпосередньо залежить від загальної добової потреби всього поголів'я, яке утримується в господарстві.

Обсяг комбікорму, який потрібно підготувати та роздати протягом доби, розраховується за формулою, що враховує норми годівлі та кількість тварин у кожній технологічній групі таблиці 2.2:

$$G_{доб} = \Sigma\ (Gi \cdot ni) \qquad (2.1)$$

Де n_i чисельність особин і-ої вікової категорії (дані представлено у таблиці 2.1);

G_i – добова потреба у комбікормі для і-ої вікової категорії, виражена в кілограмах (згідно з таблицею 2.2).

На основі проведених обчислень ми отримали загальні показники потреби в кормах для кожної групи, які зведені в таблицю 2.4.

Знаючи загальну вагу корму, яку необхідно переробити за добу, визначаємо необхідну годинну продуктивність лінії за формулою:

$$Q = G_{доб} / (T \cdot \eta) \qquad (2.2)$$

Де $G_{доб}$ — загальна добова кількість корму (13746,3 кг);

T — тривалість роботи лінії протягом доби (приймаємо 9 годин);

η — коефіцієнт використання робочого часу (приймаємо 0,8...0,9).

Після підстановки значень отримуємо:

$$Q = 13746{,}3 / (9 \cdot 0{,}9) \approx 1{,}70 \text{ т/год}$$

Таблиця 2.4

Оцінка добової потреби у комбінованих кормах

Середня добова норма споживання корму, кг/ групу	Категорія тварин
13746,3	Кнури-плідники
830	Підсисні свиноматки
7804	Поголів'я на відгодівлі
100	Хряки
688	Поросні свиноматки
726,3	Свиноматки сухостійного періоду та ранньої супоросності
114,4	Молодняк для поповнення основного стада
664	Поросята в молочний період (сисуни)
2819,6	Поросята періоду дорощування

Отже, для повного забезпечення ферми кормами власного виробництва, продуктивність проектованої лінії має становити не менше 1,7 тонни на годину. Це значення стане базовим при виборі потужності змішувача та супутнього обладнання для подрібнення і транспортування сировини.

2.5. Побудова технологічної схеми процесу

Для виготовлення якісних повнораціонних кормових сумішей необхідно враховувати фізико-механічні та технологічні властивості вихідної сировини, зокрема сипкість, фракційний склад, вологість та схильність до сегрегації. Оскільки кормові компоненти мають різну щільність і розмір частинок, забезпечення однорідності (гомогенності) суміші є одним із ключових завдань технологічного процесу. Саме рівномірність розподілу поживних речовин

визначає стабільність годівлі та ефективність засвоєння корму тваринами.

Різноманітність рецептур комбікормів та високі зоотехнічні вимоги до їх якості зумовлюють використання сучасного змішувального обладнання безперервної або періодичної дії. Вибір конкретного типу змішувача здійснюється з урахуванням продуктивності лінії, властивостей компонентів та вимог до енергоефективності процесу. Одним із ключових критеріїв проектування технологічної лінії є енергетичні параметри роботи обладнання. Зниження питомих енерговитрат дозволяє зменшити собівартість продукції та підвищити загальну економічну ефективність свинарського господарства. Теоретичне обґрунтування енергоспоживання також забезпечує правильний підбір електроприводів та стабільність роботи всієї кормолінії без перевантажень.

Для реалізації процесу безперервного приготування кормів у даному проекті прийнято стрічково-лопатевий змішувач постійної дії, який забезпечує інтенсивне та рівномірне перемішування компонентів за рахунок комбінованого впливу стрічкових і лопатевих робочих органів. Конструктивна схема змішувача представлена на рисунку 2.5.

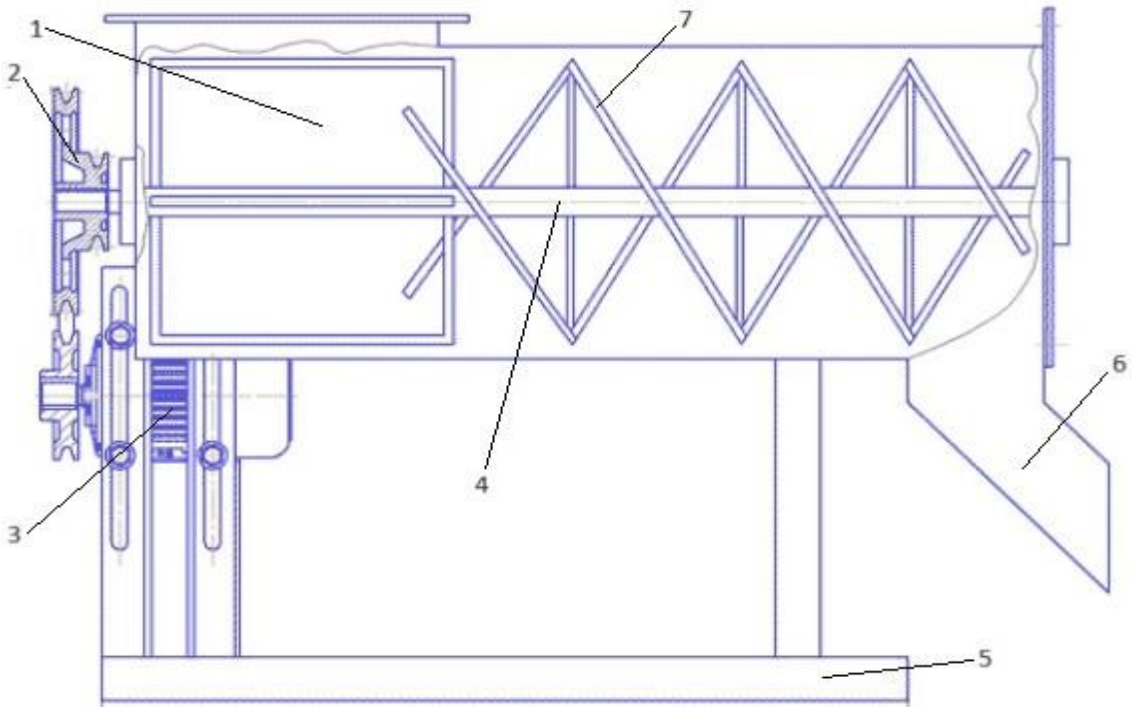


Рис. 2.5. Принципова схема конструктивного виконання безперервнодіючого змішувального апарату гвинтово-лопатевого типу

Конструкція стрічково-лопатевого змішувача є відносно простою, але технологічно ефективною, що забезпечує його широке застосування у комбікормовому виробництві. Основними конструктивними елементами є:

- завантажувальна горловина (1) — призначена для подачі попередньо підготовлених компонентів (зернової дерті, шротів, мікродобавок) у робочу камеру змішування. Конструкція забезпечує рівномірне надходження сировини без утворення завалів.
- клино-пасова передача (2) — передає крутний момент від електродвигуна до робочого вала, забезпечуючи стабільність обертання та зниження ударних навантажень на привід.
- асинхронний електродвигун (3) — є джерелом механічної енергії та забезпечує безперервну роботу змішувача у заданому режимі продуктивності.
- робочий вал (4) — основний елемент змішувального механізму, на якому закріплені стрічкові та лопатеві елементи. Саме він формує інтенсивні радіальні та осьові потоки матеріалу, забезпечуючи його рівномірне перемішування.
- рама (5) — несуча металева конструкція, яка забезпечує жорсткість установки, знижує вібрації та слугує основою монтажу всіх вузлів.
- вивантажувальний патрубок (6) — забезпечує безперервне відведення готової однорідної кормової суміші до наступного етапу транспортування або роздачі.

Принцип роботи змішувача полягає у постійному переміщенні матеріалу вздовж осі робочого вала з одночасним його радіальним перемішуванням. Стрічкові елементи відповідають за переміщення суміші вздовж центральної осі, тоді як лопаті створюють інтенсивні вихрові потоки. Це допомагає розбивати згустки та рівномірно розподіляти дрібні добавки. Така будова забезпечує високу однорідність суміші, що є дуже важливим для годування свиней різних вікових груп. Крім того, безперервний режим роботи дозволяє узгодити продуктивність змішувача з розрахованою продуктивністю кормолінії, яка становить 1,7 т/год, що забезпечує стабільну роботу всієї технологічної системи без простоїв.

Таким чином, обраний тип змішувача є оптимальним з точки зору поєднання продуктивності, енергоефективності та якості змішування, що повністю відповідає вимогам сучасного свинарського виробництва.

2.6. Висновки за розділом

У другому розділі було проведено обґрунтування вибору обладнання та виконано основні технологічні розрахунки для лінії приготування кормів. На основі аналізу структури поголів'я, яка становить понад 2400 голів різних вікових груп, та їхніх добових норм годівлі, встановлено, що загальна добова потреба господарства в комбікормі складає 13,7 тонни. Це дозволило визначити необхідну годинну продуктивність кормолінії на рівні 1,7 т/год, що стало базою для подальшого проєктування.

Головним висновком щодо технології підготовки сировини є підтвердження того, що ступінь подрібнення зерна в молотковій дробарці є вирішальним фактором якості готового продукту. Встановлено, що для забезпечення здоров'я свиней та ефективного засвоєння ними поживних речовин необхідно підтримувати сувору однорідність часток. Отримані дані вказують на те, що надмірне подрібнення веде до запиленості корму, що шкодить дихальній системі тварин, тоді як занадто грубий помел знижує енергетичну цінність раціону.

Для реалізації цих вимог було обрано та описано конструкцію стрічково-лопатевого змішувача постійної дії. Дане обладнання завдяки своїй будові дозволяє досягти високої якості змішування компонентів при оптимальних енергетичних витратах. Таким чином, обрана технологічна схема та розраховані параметри продуктивності створюють надійну основу для технічного проєктування надійної та економічно вигідної кормолінії.

РОЗДІЛ 3
ПРОЄКТУВАННЯ СТРІЧКОВО-ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

3.1. Обґрунтування розробки змішувача

Сучасний стан агропромислового комплексу вимагає впровадження високотехнологічних рішень, які дозволяють максимально автоматизувати процеси приготування кормів. Актуальність розробки змішувача комбікормів безперервної дії обумовлена передусім необхідністю підвищення якості годівлі у свинарстві, де точність дозування та однорідність суміші прямо впливають на середньодобові прирости та загальний стан здоров’я поголів’я. У традиційних схемах приготування кормів часто використовуються змішувачі порційної дії, проте вони мають суттєві недоліки, такі як тривалі цикли завантаження-вивантаження та нерівномірність навантаження на приводні вузли. Перехід до безперервного циклу змішування дозволяє усунути ці технічні розриви та створити єдиний потоковий ланцюг виробництва.

Основна перевага проєктованого змішувача полягає в його здатності підтримувати стабільно високу гомогенність суміші при великих обсягах переробки сировини. Завдяки стрічково-лопатевій конструкції робочого органу, інгредієнти корму піддаються складному просторовому переміщенню. Внутрішні гвинтові стрічки переміщують матеріал в один бік, а зовнішні — у протилежний, що в поєднанні з роботою лопатей створює ефект зустрічних потоків. Такий підхід гарантує, що навіть малі дози біологічно активних добавок та premіксів будуть рівномірно розподілені по всій масі зернової основи. Це критично важливо для запобігання сегрегації (розшарування) частинок різної щільності, яка часто виникає при транспортуванні готового корму до годівниць.

Економічний аспект розробки базується на суттєвому зниженні енергоємності процесу. Змішувач постійної дії працює у встановленому

сталому режимі, що дозволяє використовувати електродвигуни меншої потужності порівняно з порційними аналогами такої ж продуктивності. Відсутність циклічних пусків під повним навантаженням зменшує механічний знос підшипникових вузлів та передач, що значно подовжує термін експлуатації обладнання та знижує витрати на поточний ремонт. Крім того, автоматизація безперервного процесу змішування мінімізує вплив людського фактора, дозволяючи точно дотримуватися заданої рецептури та уникати перевитрати дорогих компонентів.

Технологічна гнучкість розробки дозволяє легко інтегрувати змішувач у вже існуючі лінії кормоцехів. Конструкція передбачає можливість регулювання часу перебування матеріалу в камері змішування, що дає змогу адаптувати процес під різні види сировини — від легких висівок до важких зернових сумішей. Впровадження такого обладнання сприяє інноваційному розвитку фермерського господарства, підвищуючи його конкурентоспроможність за рахунок зниження собівартості кормів та покращення їхньої поживної цінності.

Таким чином, розробка та вдосконалення змішувача безперервного функціонування є технічно обґрунтованим рішенням, яке відповідає сучасним вимогам інтенсивного тваринництва. Використання стрічково-лопатевої системи забезпечує ідеальний баланс між продуктивністю та якістю готового продукту, створюючи надійну технічну базу для забезпечення ферми високоякісними комбікормами власного виробництва. Це дозволяє не лише стабілізувати виробничий процес, а й закласти підґрунтя для подальшого нарощування поголів’я без втрати якості кінцевої продукції.

3.2. Аналіз вихідних даних для проєктування

Проєктування ефективного змішувача комбікормів безперервної дії вимагає глибокого аналізу вихідних параметрів, що базуються на специфіці конкретного тваринницького господарства. В основі розробки лежать кількісні

показники поголів’я та їхні біологічні потреби, які визначають необхідну потужність обладнання. Дана свиноферма є потужним виробничим об'єктом із загальним поголів'ям близько 7000 голів, що охоплює повний цикл вирощування: від маточного стада до відгодівельних груп та хряків-плідників. Орієнтація на таку велику кількість тварин вимагає від змішувальної установки високої експлуатаційної надійності та здатності працювати в інтенсивному потоковому режимі. Залежно від вікової категорії тварин, середньодобова норма споживання комбікорму була встановлена на таких рівнях: для поросних свиноматок — 3,2 кг/гол, для ремонтного молодняку — 2,2 кг/гол, для підсисних свиноматок вона становить 5,0 кг/гол, для поросят-сисунів — 0,4 кг/гол, для відгодівельного поголів’я — 4,0 кг/гол, для поросят на дорощуванні — 1,4 кг/гол, для холостих та умовно-поросних свиноматок — 2,7 кг/гол, а для кнурів-плідників — 10,0 кг/гол.

Вихідним пунктом для визначення технічних характеристик агрегату є сумарна добова потреба в кормах, яка для даного господарства становить приблизно 13,7 тонни. Враховуючи стандартний восьмигодинний робочий день та необхідність технологічних перерв, розрахункова продуктивність змішувача має становити не менше 1,7 т/год. Це дозволяє не лише забезпечити щоденний раціон усіх вікових груп, а й створити невеликий часовий резерв на випадок проведення технічного обслуговування або зміни рецептури. Такий підхід гарантує безперебійність годівлі, що є критично важливим для підтримання стабільно високих показників приросту маси тіла свиней.

Окрім кількісних показників, вирішальне значення мають фізико-механічні та технологічні властивості сировини. Комбікорм на даній фермі базується на суміші пшениці, ячменю та спеціалізованих білково-мінерально-вітамінних добавок (БМВД). Кожен із цих компонентів має власну насипну щільність, кут природного скосу та коефіцієнт тертя по металу (детальні дані наведені в табл. 3.1). Ці характеристики безпосередньо впливають на конструкцію робочого вала, крок спіралі та кут нахилу лопатей. Важливо враховувати, що пшениця та ячмінь мають різну текучість та абразивність, що

потребує від змішувача здатності працювати з неоднорідними за структурою масами, забезпечуючи при цьому рівень гомогенності суміші не менше 90–95%.

Таблиця 3.1

Фізико-механічні характеристики компонентів суміші

Показник	Ячмінь	Пшениця	БМВД
Максимальний розмір частинок після подрібнення	≤ 2-3 мм	≤ 2-3 мм	≤ 2-3 мм
Допустиме відхилення вмісту мікроелементів	±0,1-0,25%	±0,1-0,25%	±0,1-0,25%
Коефіцієнт тертя об металеву поверхню	0,4-0,43	0,4-0,43	0,44-0,46
Кут природного укосу	33-36°	32-36°	36-37°
Насипна густина	0,46-0,54кг/м³	0,68-0,78кг/м³	0,65-0,70кг/м³
Масова частка мінеральних домішок (зокрема, піску)	≤ 0,3%	≤ 0,3%	≤ 0,3%
Істинна густина	1,3кг/м³	1,5кг/м³	1,2кг/м³
Ступінь однорідності складу	≥ 90-95%	≥ 90-95%	≥ 90-95%
Масова частка вологи	14-15%	14-15%	14-15%

Особлива увага при проєктуванні приділяється енергетичним та динамічним параметрам процесу. Для досягнення якісного змішування у швидкохідному режимі необхідно забезпечити таку кутову швидкість обертання робочих органів, при якій суміш набуває обертово-поступального руху. У такому стані матеріал поводиться як квазітверде тіло, що дозволяє оптимізувати витрати енергії на подолання сил внутрішнього тертя та тертя об стінки кожуха. Розрахункова потужність привода повинна покривати витрати на безпосереднє переміщення маси, подолання опору лопатевого механізму, а також втрати у підшипникових вузлах та передавальних механізмах.

Таким чином, детальний аналіз вихідних даних дозволяє перейти від загальних вимог до конкретних інженерних рішень. Врахування як виробничих масштабів ферми, так і специфічних властивостей зернової сировини та БМВД, стає запорукою створення ефективної конструкції змішувача. Це забезпечить не лише виконання зоотехнічних норм щодо розміру частинок (2–3 мм) та точності дозування мікроелементів, а й дозволить досягти високої економічної ефективності всього кормоцеху за рахунок раціонального використання

енергоресурсів.

3.3. Визначення робочих параметрів обладнання

Для проєктування ефективного стрічково-лопатевого змішувача необхідно провести детальний аналіз кінематики руху сипкого матеріалу та розрахувати енергетичні витрати, що виникають під час його роботи. У даному дослідженні ми розглядаємо змішувач як складну систему, де матеріал піддається одночасному впливу гвинтових стрічок та лопатевих робочих органів.

Приймаємо модель швидкохідного режиму роботи, за якого кутова швидкість обертання вала є достатньою для того, щоб весь об'єм суміші набув обертово-поступального руху. У такому стані сипкий матеріал поводиться як квазітверде тіло. Це дозволяє зосередити розрахунки на русі центру мас потоку, що знаходиться на радіусі інерції. Сумарна робота, необхідна для функціонування змішувача, складається з п'яти основних компонентів:

$$A = A1 + A2 + A3 + A4 + A5, \quad (3.1)$$

Де A4 - являє собою енергетичні витрати, зумовлені впливом аеродинамічних навантажень;

A1 - позначає енергетичні витрати, асоційовані з транспортуванням дисперсного матеріалу за допомогою спірально-стрічкового змішувача;

A3 акумулює сукупні енергетичні витрати, які охоплюють подолання фрикційних опорів на внутрішніх поверхнях корпусу та лопатях робочого колеса під час ежекції матеріалу в канал дефлектора, а також енергію, витрачену на його підйом до визначеної висоти;

A2 - енерговитрати, спрямовані на подолання резистивних сил під час руху матеріалу вздовж внутрішніх поверхонь корпусу лопатевого апарату;

A5 - енергетичні витрати, спрямовані на подолання сил опору в фрикційних вузлах системи.

Енергетичні витрати А1, відповідно до [43], розраховуються за такою формулою:

$$A_1 = A_n K_1 K_2 K_3 , \qquad (3.2.)$$

Де К3 - параметр, що відображає специфіку розташування траси;

К1 - коефіцієнт, що враховує енергетичні затрати, які виникають внаслідок процесів перемішування, подрібнення, блокування дисперсного матеріалу;

А*n* - являє собою теоретично обчислене значення виконаної роботи, посилання на яке міститься у джерелі [43];

К2 - показник, що корелює з технологічними допусками або неточностями виготовлення конструктивних елементів змішувального апарату.

Для визначення величини Ап застосовується спрощена функціональна залежність, наведена у джерелі [43]:

$$A_n = \Delta t \cdot Q \cdot y_G \, g \cdot (H + L \cdot \omega) \qquad (3.3)$$

Де ω - кутова швидкість ротації шнекового змішувача;

L - протяжність траєкторії транспортування;

Δt - часовий інтервал транспортування;

H - висота підйому траєкторії;

g - прискорення вільного падіння;

Q - пропускна здатність змішувача.

Для точного розрахунку енергетичних витрат у лопатевому механізмі необхідно враховувати взаємодію сипкого матеріалу з внутрішньою поверхнею кожуха. Робота А2 відображає енергію, яка витрачається на подолання сил тертя під час примусового переміщення порції корму вздовж дуги циліндричної частини змішувача.

Згідно з методикою [43], математичний вираз для визначення цієї складової має вигляд:

$$A2 = \Omega \cdot (2\pi \cdot R_к \cdot F / 360) \qquad (3.4)$$

Де Ω - центральний кут дугової ділянки кожуха, що відповідає куту переміщення матеріалу;

L - довжина дугової траєкторії в межах кожуха робочого колеса (імпелера), вздовж якої здійснюється транспортування матеріалу;

F - сила опору тертя, яка виникає при контакті матеріалу з внутрішньою стінкою кожуха під час його руху;

$R_к$ - радіус робочого колеса.

Наступним важливим етапом є аналіз роботи лопатевого механізму (A2). Вона витрачається на подолання сил опору при переміщенні матеріалу по стінках кожуха. Ця величина прямо залежить від сили тертя, яка, у свою чергу, зумовлена відцентровими силами, що діють на масу матеріалу у міжлопатевому просторі:

$$F = \mu \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R_o \cdot k \quad (3.5)$$

Де ω - кутова швидкість обертання робочого колеса;

μ - коефіцієнт тертя, що виникає між дисперсним матеріалом та корпусом крильчатки;

m- маса дискретної частки матеріалу;

k - коефіцієнт, який інтегрує додатковий тиск сипкого матеріалу на поверхню корпусу внаслідок гравітаційних та динамічних впливів;

R_o- радіус центру мас порції матеріалу (для його визначення доцільно використовувати залежності, наведені у праці [44]).

Маса матеріалу, що знаходиться у міжлопатевому просторі двох суміжних лопаток, визначається наступним чином:

$$m = \eta_G V_2 , \quad (3.6)$$

Де V2 - позначає обсяг матеріалу.

Шляхом підстановки співвідношень одержуємо формулу, яка описує витрати роботи, необхідної для компенсації сил тертя в крильчатці:

$$A2 = (\pi \cdot Rк \cdot R0 \cdot \omega^2 \cdot (\Theta + \eta) / 180) \cdot \eta G \cdot \mu \cdot kH \cdot C, \quad (3.7)$$

У даному виразі враховано радіус центра мас порції матеріалу R0, кутову швидкість ω, а також специфічні коефіцієнти: ηG (враховує нерівномірність маси), μ (коефіцієнт тертя), kH (динамічний тиск) та кількість лопатей C.

Окрім аеродинаміки, на енергоємність процесу впливає кількість активних лопатей, що одночасно взаємодіють із матеріалом у зоні завантаження. Це значення визначається співвідношенням центрального кута зони подачі та кутового кроку лопатей:

$$C = (\Theta + \eta) / \eta$$

Наступним кроком є визначення роботи А3, яка витрачається на підйом та викид матеріалу в русло дефлектора. З урахуванням часового фактора та продуктивності, формула має вигляд:

$$A3 = (1 + \bar{\psi}) \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot t \qquad (3.8)$$

Де Q - продуктивність крильчатки;

ψ - коефіцієнт, що відображає дисипативні втрати, які виникають внаслідок подолання сил тертя між матеріалом та поверхнями корпусу (кожуха) і лопатей робочого колеса під час його транспортування в канал трубопроводу;

H - висота, на яку матеріал подається робочим колесом до дефлектора.

Робота аеродинамічних навантажень А4 визначається через інтегрування кінетичної енергії елементарних мас повітря, яким лопаті надають швидкості протягом часу роботи:

$$A4 = t \cdot K \cdot \int (v^2(\rho) / 2)\, dm_n, \qquad (3.9)$$

Де K - число лопатей;

t - тривалість функціонування лопатевого робочого колеса;

dmn - елементарна маса повітря, яка набуває швидкості v(ρ) за проміжок часу t.

$$dm_n = (\gamma / g) \cdot v(\rho) \cdot b \cdot t \cdot d\rho, \qquad (3.10)$$

Де b - позначає поперечний розмір (ширину) лопаті;

γ - відображає питому масу (густину) повітряного середовища.

Шляхом підстановки та перетворень, враховуючи кут нахилу лопатей та їхню геометричну форму, отримуємо фінальну розрахункову формулу для аеродинамічних втрат:

$$A4 = (K \cdot \gamma / 8g) \cdot b \cdot \omega^3 \cdot \sin\alpha_0 \cdot \tan\alpha_0 \cdot (R^2 - r^2), \qquad (3.11)$$

Де R, r - відповідно зовнішній та внутрішній радіуси лопатевого

елемента робочого колеса;

α_0 - кут встановлення лопатевого елемента.

Загальна робота А5, що витрачається на подолання сукупності сил опору, які не пов'язані з окремими парами тертя, описаними вище, розраховується за формулою:

$$A_5 = \eta (A_1 + A_2 + A_3 + A_4), \quad (3.12)$$

Де η - емпіричний коефіцієнт, який враховує специфічні експлуатаційні умови функціонування змішувального пристрою та встановлюється шляхом експериментальних досліджень.

Таким чином, представлена математична модель дозволяє встановити функціональний зв’язок між конструктивними розмірами змішувача та його енергоємністю. Визначені параметри роботи стають фундаментом для вибору силового агрегату та оптимізації геометрії лопатевого вала. Це гарантує, що при заданих фізико-механічних властивостях зерна (пшениця, ячмінь) та добавок БМВД, змішувач працюватиме в оптимальному режимі з максимальною ефективністю та мінімальним питомим споживанням енергії.

3.4. Обчислення пропускної здатності стрічково-лопатевого змішувача

Для визначення параметрів проектованого змішувача комбікормів постійної дії необхідно розрахувати його продуктивність, виходячи із загальної добової потреби тварин та прийнятого режиму роботи обладнання.

Загальна кількість корму, яку необхідно підготувати протягом доби, визначається як сума потреб усіх технологічних груп тварин за формулою:

$$G_{доб} = \Sigma(Ni \cdot Gi), \quad (3.13)$$

Де Ni — кількість голів у і-й віковій групі;

$G_{доб}$ — загальна добова потреба в комбікормах, кг;

Gi — добова норма згодовування комбікорму для однієї голови, кг/гол;

n — кількість вікових груп.

Підставляючи вихідні дані щодо структури поголів’я та норм годівлі, отримаємо:

$$G_{доб} = (166\times50)+(2014\times14)+(269\times27)+(215\times32)+(1951\times40)+(52\times22)+(10\times100)$$

$$GG_{доб} = 8300+28196+7263+6880+78040+1144+1000=137823кг$$

Необхідна годинна продуктивність змішувача визначається за формулою:

$$Q = G_{доб} / T_{роб}, \quad (3.14)$$

Де $G_{доб}$ - добова потреба, кг;

Q - продуктивність змішувача, кг/год;

$T_{роб}$ - тривалість роботи протягом доби, год.

Приймаємо $T_{роб} = 8$ год.:

$$Q = 137823 / 8 = 17227,9 \text{ кг/год}$$

Отже, для повного забезпечення ферми необхідною кількістю комбікормів протягом однієї робочої зміни, проектна продуктивність стрічково-лопатевого змішувача має становити не менше 17,228 т/год. Це значення є визначальним для подальшого вибору геометричних розмірів змішувальної камери та розрахунку потужності привода.

3.5. Висновки за розділом

У третьому розділі виконано комплексне конструкторське обґрунтування та розрахунок основних параметрів стрічково-лопатевого змішувача постійної дії, призначеного для приготування комбікормів у складі технологічної лінії свиноферми.

На основі проведених досліджень розроблено математичну модель процесу змішування сипких матеріалів, яка враховує сумісну роботу гвинтового та лопатевого робочих органів. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначати основні технологічні та конструктивні параметри

обладнання з достатньою точністю, що забезпечує зменшення тривалості процесу змішування при дотриманні вимог до однорідності кормової суміші на рівні 90–95%. У ході розрахунків визначено раціональні геометричні параметри змішувального органа, які забезпечують максимальну продуктивність установки до 11 кг/с. Встановлено основні конструктивні розміри елементів змішувача, зокрема зовнішній та внутрішній радіуси дефлектора, ширину та радіуси лопатей, а також параметри гвинтової спіралі і розташування елементів корпусу. Це дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу обладнання в умовах безперервного процесу змішування. Робочий орган обладнання має чотири лопаті крильчатки з кроком 90°, а центральний кут зони подачі становить 75°, що забезпечує рівномірний розподіл матеріалу в робочій камері та високу інтенсивність змішування.

Також обґрунтовано динамічні особливості процесу змішування, що дозволило врахувати вплив інерційних сил, сил тертя та аеродинамічних навантажень на сипкий матеріал. Розроблена модель враховує властивості основних компонентів корму (пшениця, ячмінь, БМВД), що забезпечує більш точне прогнозування енергетичних витрат.

Отримані результати формують надійну теоретичну основу для подальшого проєктування привідного механізму та дозволяють забезпечити енергоефективну роботу змішувача в умовах реального фермерського господарства з поголів’ям близько 7000 свиней.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Охорона праці під час приготування кормів

Експлуатація та введення в дію безперервного стрічкового змішувача має здійснюватися у суворій відповідності до технічної документації та інструкцій, наданих заводом-виробником. Протягом усього періоду його функціонування критично важливо забезпечити неухильне виконання всеохоплюючого комплексу заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків виробничих травм та попередження надзвичайних подій. Дане устаткування має бути обов'язково укомплектоване спеціальними захисними елементами, такими як кожухи та огородження, які повністю унеможливлюють доступ персоналу до рухомих компонентів під час його роботи. Це є фундаментальною передумовою для забезпечення безпечної та безаварійної експлуатації змішувального агрегату.

Для можливості оперативного реагування у випадку виникнення потенційно небезпечних або аварійних ситуацій, необхідно передбачити наявність пристроїв екстреної зупинки, розташованих у легкодоступних та зручних для використання місцях. Вони надають можливість миттєво припинити функціонування установки у разі нагальної потреби. Ключовим аспектом забезпечення безпечної та тривалої експлуатації є систематичне технічне обслуговування змішувального агрегату. Цей процес охоплює ретельну інспекцію функціональності всіх механічних вузлів, надійності електричних з'єднань та коректності роботи системи управління. Будь-які виявлені недоліки або дефекти підлягають негайному усуненню без будь-яких зволікань.

Персонал, який безпосередньо бере участь у процесі виробництва комбікормів, повинен пройти обов'язкове спеціалізоване навчання та детальний інструктаж з охорони праці. Перед початком виконання робочих завдань кожен

працівник має бути повністю ознайомлений з регламентом безпечного користування устаткуванням, протоколами дій у нештатних та аварійних ситуаціях, а також з методикою надання невідкладної першої допомоги постраждалим. Загальна організація технологічного процесу має бути спланована таким чином, щоб забезпечити максимальну мінімізацію ризиків для здоров'я та безпеки працівників. Перед кожним запуском обладнання необхідно провести всебічну перевірку його технічної справності, а також переконатися у повній відсутності сторонніх об'єктів у робочій зоні змішувача.

Подача сировинних компонентів до змішувального агрегату повинна виконуватися плавно та рівномірно, суворо дотримуючись встановлених лімітів допустимого навантаження. Недотримання цих вимог може призвести до порушення стабільної роботи обладнання або його передчасного виходу з ладу.

4.2. Пожежна безпека на кормовиробництві

Кормоцехи та приміщення, де експлуатуються змішувачі комбікормів, належать до об’єктів підвищеної пожежної небезпеки (категорії Б або В). Це пов’язано з наявністю органічного пилу зернових компонентів, який за певних умов може утворювати вибухонебезпечні суміші. У зв’язку з цим забезпечення пожежної безпеки потребує комплексу технічних та організаційних заходів. З технічного боку, виробничі ділянки повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Зокрема, у кожній зоні обслуговування змішувача необхідно встановити сертифіковані вогнегасники (порошкові або вуглекислотні), придатні для гасіння електроустановок під напругою. Додатково пожежні щити комплектуються інвентарем — ящиками з піском, лопатами, баграми та відрами.

Для підвищення рівня безпеки доцільно впроваджувати автоматизовані системи пожежного захисту. Це можуть бути димові або теплові датчики, які інтегровані з системою сигналізації та автоматично вимикають обладнання і

вентиляцію у разі виникнення загоряння. Також приміщення кормоцеху повинно бути обладнане внутрішнім пожежним водопроводом із кранами та рукавами, що забезпечують подачу води до будь-якої точки виробничої зони. Важливе значення має профілактика виникнення пожеж. Основним фактором ризику є накопичення пилу на обладнанні та електродвигунах. Тому необхідно регулярно проводити очищення виробничих поверхонь, застосовуючи вологе прибирання або очищення стисненим повітрям. Надмірне накопичення пилу може призводити до перегріву обладнання та підвищує ризик займання.

Окрему увагу слід приділяти електробезпеці. Усе електрообладнання повинно бути виконане у пилозахищеному виконанні, а з'єднання — надійно закріплені для уникнення іскріння. Регулярно контролюється стан ізоляції електропроводки. Також важливо здійснювати контроль температури підшипникових вузлів змішувача, оскільки їх перегрів через недостатнє змащування може стати джерелом займання сировини. З організаційного боку, весь персонал повинен проходити обов'язковий протипожежний інструктаж. У приміщеннях мають бути розміщені плани евакуації та інформація про номери екстрених служб. Крім того, аптечка першої допомоги повинна містити засоби для обробки опіків та промивання очей від пилу.

Таким чином, комплексне дотримання вимог пожежної безпеки дозволяє значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безпечну експлуатацію кормовиробничого обладнання.

4.3. Забезпечення безпеки виробничого процесу у випадку аварійних ситуацій

Надійність роботи кормоприготувального цеху визначається не лише технічним станом обладнання, а й чіткою організацією дій персоналу у випадку виникнення аварійних ситуацій. У процесі експлуатації стрічково-лопатевого змішувача можливі різні позаштатні ситуації, зокрема заклинювання робочого

органа, перевантаження електродвигуна, потрапляння сторонніх предметів або раптове зникнення електроживлення.

У зв’язку з цим особливого значення набуває дотримання встановленого порядку роботи. Під час функціонування обладнання працівникам забороняється виконувати будь-які втручання в його конструкцію, відкривати захисні кожухи, а також здійснювати ремонтні чи налагоджувальні роботи. Усі такі дії допускаються лише після повної зупинки обладнання та його відключення від електромережі. У разі виникнення ознак несправності, таких як сторонній шум, підвищена вібрація, запах перегрітого ізоляційного матеріалу або іскріння, оператор зобов’язаний негайно зупинити роботу змішувача за допомогою аварійної кнопки та повідомити відповідальну особу.

Важливим етапом є організація ремонтних та обслуговуючих робіт. Перед їх початком обладнання повинно бути повністю знеструмлене із забезпеченням видимого розриву електричного кола, а на пускових пристроях обов’язково встановлюється попереджувальний напис «НЕ ВМИКАТИ! ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ». До виконання таких робіт допускається лише кваліфікований персонал, який має відповідну підготовку та групу з електробезпеки. Оскільки окремі вузли змішувача мають значну масу, їх демонтаж і переміщення повинні здійснюватися із застосуванням підйомно-транспортного обладнання, що дозволяє уникнути травмування працівників. Відпрацьовані деталі та використані мастильні матеріали підлягають збору у спеціальну тару з подальшою утилізацією відповідно до встановлених екологічних норм.

Окрему увагу слід приділяти безпеці при роботі з сипкими кормовими матеріалами. Зернові компоненти та добавки повинні зберігатися у закритих ємностях, що запобігає їх розпиленню. Під час завантаження сировини працівники зобов’язані використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема респіратори та захисні окуляри, що знижує ризик впливу пилу на органи дихання. Також необхідно підтримувати належний санітарний стан робочої зони, своєчасно видаляючи залишки корму та розсипану сировину,

оскільки їх накопичення може створювати додаткові ризики травмування та пожежної небезпеки.

Таким чином, чітке дотримання правил дій у разі аварійних ситуацій дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу, мінімізувати простої обладнання та гарантувати безпеку персоналу.

4.4. Висновки за розділом

У четвертому розділі було комплексно розглянуто питання охорони праці, пожежної безпеки та організації безпечної експлуатації стрічково-лопатевого змішувача постійної дії в умовах свиноферми. На основі проведеного аналізу можна зробити такі узагальнені висновки.

По-перше, встановлено, що конструктивні рішення змішувача відповідають сучасним вимогам техніки безпеки. Наявність захисних кожухів на рухомих частинах, надійне заземлення корпусу, а також система аварійної зупинки забезпечують високий рівень захисту персоналу та мінімізують ризики травматизму навіть за інтенсивної продуктивності роботи обладнання. По-друге, визначено, що виробничий процес супроводжується підвищеною пожежною небезпекою через наявність органічного пилу зернових компонентів. У зв’язку з цим обґрунтовано необхідність регулярного очищення обладнання і приміщень, використання пилозахищеного електрообладнання, а також обов’язкове оснащення кормоцеху первинними засобами пожежогасіння. По-третє, доведено доцільність впровадження системи управління охороною праці на підприємстві. Вона передбачає чіткий розподіл відповідальності між працівниками, регулярне проведення інструктажів і навчань, систематичний контроль стану обладнання та робочих місць, а також впровадження заходів щодо покращення умов праці, зокрема вентиляції та зниження пилового навантаження.

Окремо встановлено, що важливим елементом безпечної експлуатації є готовність персоналу до дій у разі аварійних ситуацій. Розроблений порядок дій передбачає швидке знеструмлення обладнання, використання попереджувальних знаків та залучення кваліфікованих ремонтних служб, що забезпечує високий рівень виробничої безпеки.

Таким чином, реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє забезпечити безпечні умови праці, знизити виробничі ризики та підвищити загальну надійність роботи кормоприготувального цеху.

РОЗДІЛ 5
ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

Модернізація технологічних ліній у тваринництві потребує ретельного техніко-економічного аналізу. Впровадження високопродуктивного обладнання зазвичай супроводжується зростанням капітальних інвестицій, які мають компенсуватися зниженням поточних експлуатаційних витрат. У цьому розділі проведено економічну оцінку доцільності заміни традиційного змішувача кормів періодичної дії на розроблений стрічково-лопатевий змішувач безперервної дії для свиноферми потужністю 7000 голів.

Відповідно до прийнятої системи годівлі, добова потреба в комбікормах складає 137823 кг. Для забезпечення заданого обсягу виробництва передбачається робота змішувача в одну зміну тривалістю 8 годин на добу. Пропускна здатність проектованого змішувача безперервної дії становить 17228 кг/год, що дозволяє повністю покривати добову потребу господарства в межах встановленого режиму роботи. Базова вартість проектованого змішувача приймається на рівні 3000000 грн. Нормативний термін його експлуатації (амортизації) становить 10 років. Річні витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання складають 300000 грн. Додатково враховано витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу. Середня заробітна плата оператора кормоцеху становить 60000 грн на місяць.

Експлуатаційні витрати на утримання та роботу обладнання складаються з амортизаційних відрахувань, фонду оплати праці обслуговуючого персоналу та витрат на поточне технічне обслуговування. Розрахунок виконується за лінійним методом, за якого вартість машини рівномірно переноситься на собівартість продукції протягом усього терміну експлуатації:

$$А_р проєкт = К_р проєкт / Т_а м = 3000\,000 / 10 = 300000 \text{ грн/рік}$$

Де $А_р$проєкт – щорічні амортизаційні відрахування;

$T_а$м – загальний термін амортизації;

$K_р$проєкт - базова вартість проєктованого змішувача.

Завдяки високій продуктивності (17,2 т/год), проєктований змішувач повністю забезпечує добову потребу ферми за одну 8-годинну робочу зміну, що вимагає наявності у штаті одного оператора:

$$В_{зп1} = ЗП_{міс} *12 = 60000 *12 = 720{,}000 \text{ грн/рік}$$

Сумарні річні витрати на експлуатацію стрічково-лопатевого змішувача безперервної дії становлять:

$$В_{заг1}=Апроєкт+В_{зп1}+В_{обсл1}$$

$$В_{заг1}=300000+720000+300000=1320000 \text{ грн/рік}$$

Для порівняння обрано традиційний змішувач комбікормів періодичної дії (циклічного типу) зі стандартною продуктивністю 8000 кг/год та балансовою вартістю (Ктрад) 1500000 грн. Річні витрати на його обслуговування ($В_{обсл2}$) становлять 210000 грн.

Щоб підготувати необхідні 137823 кг корму на добу, традиційний змішувач повинен працювати:

$$t\text{трад} = 137{,}823/8000 \approx 17{,}23 \text{ год/добу}$$

Робота протягом 17,23 години вимагає організації двозмінного режиму роботи кормоцеху, що зумовлює необхідність утримання в штаті 2 операторів.

Відповідно, річний фонд оплати праці для базового варіанта складе:

$$В_{зп2} = 2 * 60{,}000 *12 = 1440000 \text{ грн/рік}$$

Амортизаційні відрахування для традиційного змішувача:

$$Атрад = 1500000/10 = 150000 \text{ грн/рік}$$

Отже, загальні річні витрати традиційного варіанта визначаються як:

$$В_{заг2}=Атрад+В_{зп2}+В_{обсл2},$$

$$В_{заг2}=150\,000+1\,440\,000+210\,000 = 1800000 \text{ грн/рік}$$

Річна економія експлуатаційних витрат при впровадженні змішувача безперервної дії становить:

$$ΔВ=В_{заг2}−Вз_{аг1}=1800\,000−1320000 = 480000 \text{ грн/рік}$$

Додаткові капітальні вкладення на впровадження нового обладнання:

$$\Delta K = 3000\,000 - 1500\,000 = 1500000 \text{ грн}$$

Тоді термін окупності становить:

$$T_{ок} = \Delta K / \Delta B = 1500\,000 / 480\,000 = 3{,}125 \text{ року}$$

Що відповідає приблизно 3 рокам і 1,5 місяцям.

Отже, проведені розрахунки підтверджують економічну доцільність впровадження стрічково-лопатевого змішувача безперервної дії на свинофермі з поголів'ям 7000 голів. Незважаючи на вищу початкову вартість обладнання (3 млн грн проти 1,5 млн грн), запропонований змішувач забезпечує суттєве зниження щорічних експлуатаційних витрат — на 480000 грн. Основний економічний ефект досягається за рахунок підвищення продуктивності та скорочення потреби в персоналі, що дозволяє зменшити фонд оплати праці та перевести кормоцех на більш ефективний режим роботи. Розрахунковий термін окупності становить 3,125 року, що є значно меншим за нормативний термін експлуатації обладнання (10 років) і свідчить про високу економічну ефективність та інвестиційну привабливість проєктного рішення.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання, пов’язане з удосконаленням процесу приготування комбікормів на свинарських фермах шляхом розробки та обґрунтування параметрів стрічково-лопатевого змішувача безперервної дії. В процесі дослідження встановлено важливість якісної підготовки сировини перед змішуванням. Доведено, що ступінь подрібнення зернових компонентів істотно впливає на рівномірність розподілу кормової суміші та ефективність засвоєння поживних речовин організмом тварин. Визначено необхідність оптимального регулювання дробильного обладнання для зменшення пилоутворення та покращення санітарно-гігієнічних умов кормоцеху.

У роботі розроблено математичну та динамічну моделі процесу змішування сипких матеріалів комбінованим робочим органом. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначати основні технологічні, конструктивні та енергетичні параметри змішувача ще на етапі проектування. Це забезпечує підвищення ефективності процесу змішування та зниження питомих енерговитрат при досягненні високої однорідності кормової суміші — понад 95 %. На основі проведених розрахунків визначено оптимальні конструктивні параметри змішувача, що забезпечують продуктивність до 11 кг/с. Встановлено раціональні геометричні характеристики дефлектора, лопатевої системи та гвинтової спіралі. Зокрема, зовнішній радіус дефлектора становить 335 мм, внутрішній — 235 мм, ширина лопатей — 90 мм, а кількість лопатей робочого органа — 4 шт. із кутовим кроком 90∘. Також визначено параметри гвинтової спіралі та центрального кута русла, що забезпечують стабільне переміщення й інтенсивне перемішування компонентів.

Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження розробленого змішувача на свиноферміз поголів’ям 7000 голів. Установлено, що використання змішувача безперервної дії дозволяє організувати роботу кормоцеху в однозмінному режимі тривалістю 8 годин на

добу. За рахунок підвищення продуктивності та скорочення витрат на оплату праці забезпечується річна економія експлуатаційних витрат у розмірі 480000 грн.

Виконана оцінка інвестиційної ефективності показала, що, незважаючи на вищу початкову вартість обладнання порівняно з традиційними змішувачами періодичної дії, термін окупності додаткових капітальних вкладень становить 3 роки та 1,5 місяця. Це підтверджує економічну доцільність і практичну перспективність використання запропонованого технічного рішення у сучасних тваринницьких господарствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальчук В.В. Теорія машин і механізмів. – К.: Вища школа, 2003. – 580 с.
2. Івченко В.М., Романенко С.В. Обладнання для переробки кормів. – К.: Урожай, 2007. – 420 с.
3. Сільськогосподарські машини: Підручник / За ред. В.П. Андрієвського. – К.: Вища школа, 2004. – 456 с.
4. Кравченко А.О., Сидоренко І.В. Проектування сільськогосподарських машин. – Харків: Основа, 2009. – 360 с.
5. Державний стандарт України ДСТУ 2230-93. Комбікорми. Вимоги до безпеки і якості.
6. Мельник В.В., Шевченко О.М. Автоматизація процесів у сільськогосподарському виробництві. – К.: Наукова думка, 2011. – 288 с.
7. Глущенко А.М. Технологічне обладнання для приготування кормів. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – 392 с.
8. Сахно В.Г., Бондаренко О.О. Обладнання для переробки кормів. – Полтава: ПДАА, 2008. – 340 с.
9. Технологія виробництва комбікормів: Навч. посібник / За ред. І.Ф. Гриценка. – К.: Вища школа, 2006. – 304 с.
10. Власенко В.В., Морозов І.М. Основи механіки сипучих матеріалів. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – 400 с.
11. Бойко Ю.М., Литвиненко В.В. Механізація та автоматизація технологічних процесів. – К.: Аграрна освіта, 2005. – 368 с.
12. Плахотник В.М., Іванченко М.А. Теорія і практика кормоприготування. – К.: Урожай, 2012. – 276 с.
13. Кириленко В.П., Савченко С.М. Технологія і техніка виробництва комбікормів. – Дніпро: ДДАЕУ, 2007. – 296 с.
14. Публікації в журналі "Техніка і технології АПК" – Випуски 2010-2020 рр.
15. Сайт "Український клуб аграрного бізнесу" – https://ucab.ua/
16. Сайт "Мінагрополітики України" – https://agro.me.gov.ua/

17. Сайт "Науково-практичний журнал "Сучасне агропромислове виробництво"" – http://agrosvit.info/
18. Сайт "Національна академія аграрних наук України" – https://naas.gov.ua/
19. Сайт "Агропортал" – https://agroportal.ua/
20. Сайт "Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської техніки" – https://uaitc.org.ua/
21. Публікації в журналі "Економіка АПК" – Випуски 2010-2020 рр.