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 технологічного процесу приготування кормів на свинофермі з розробкою спірально-гвинтового змішувача сипких кормів»

Виконав: студент _4 курсу, групи 42-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Ославський Костянтин Іванович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н, доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КОРМОПРИГОТУВАННЯ СВИНАРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА 8

1.1. Технологічні підходи кормоприготування та системи годівлі свиней 8

1.2. Аналіз технічних характеристик змішувачів кормових сумішей 9

1.3. Висновки за розділом 12

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ КОРМОПРИГОТУВАННЯ 14

2.1. Актуальність та передумови вдосконалення технологічного процесу 14

2.2. Аналіз раціонів та типологія сухої годівлі у свинарстві 15

2.3. Формування вихідних даних і вимог до якості кормів 17

2.4. Оцінка діючої технології приготування кормів на фермі 19

2.5. Конструктивно-технологічне обґрунтування запропонованої лінії кормоприготування 23

2.6. Висновки за розділом 25

РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ СИПКИХ КОРМІВ 26

3.1. Актуальність удосконалення процесу змішування комбікормів 26

3.2. Оцінка конструкцій змішувального обладнання та шляхів їх вдосконалення 27

3.2.1. Класифікація та конструктивні особливості кормозмішувачів 28

3.2.2. Аналіз патентних рішень та досвіду експлуатації аналогів змішувачів 32

3.3. Конструктивна розробка модернізованого робочого органу змішувача . 35

3.3.1. Технологічна схема та опис конструктивних змін 35

3.3.2. Інженерне обґрунтування геометрії змішувального обладнання 35

3.3.3. Визначення енергетичних параметрів та вибір елементів привода 40

3.3.4. Обчислення параметрів міцності конструкції 44

3.4. Висновки за розділом 45
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ 46
4.1. Основні вимоги безпеки праці при приготуванні кормів 46
4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації вдосконаленого змішувача кормових сумішей у галузі свинарства 47
4.3. Висновки за розділом 49
РОЗДІЛ 5. ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ 50
ВИСНОВКИ 53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 55

ВСТУП

Фундаментом для розвитку сучасних механізованих систем годівлі стали комплексні дослідження фізіології тварин. На основі праць вітчизняних та зарубіжних учених було сформульовано три визначальні чинники ефективного вирощування: суворий баланс поживних речовин, точне нормування порцій та одночасне потрапляння всіх компонентів раціону до організму.

Реалізація цих принципів на практиці вимагає впровадження багатокомпонентних раціонів, які повністю задовольняють біологічні потреби тварин. Це стимулювало розробку спеціалізованих механізованих операцій, спрямованих на попередню обробку сировини. Такі технологічні рішення не лише покращують засвоюваність корму, а й безпосередньо впливають на зміцнення імунітету поголів'я, одночасно знижуючи собівартість кінцевої продукції.

Паралельно з якісними показниками, критичне значення має кількісна точність годівлі. Обґрунтовані фізіологічні норми споживання стають технічним завданням для інженерів: саме на їх основі проєктуються механізовані засоби з відповідною продуктивністю та точністю дозування. Це дозволяє уникнути як дефіциту поживних речовин, так і перевитрати дорогої сировини.

Особливу увагу в сучасних технологіях приділяють формі подачі корму. Науково доведено, що використання повноцінних кормових сумішей (монокормів) замість роздільного згодовування інгредієнтів підвищує ефективність засвоєння ресурсів на 15–20%. Такий підхід зумовив активний розвиток ліній приготування комбікормів, що стали невід'ємним елементом інтенсивного тваринництва.

Сучасний етап розвитку галузі вимагає переходу до ресурсоощадних моделей виробництва. Впровадження в склад комбікормів білково-вітамінних добавок, амінокислот та ферментів дозволяє максимально розкрити генетичний потенціал тварин. Проте ефективність таких добавок прямо залежить від якості

їх розподілу в загальній масі корму. Саме тому досягнення високого ступеня однорідності суміші є головним критерієм якості роботи змішувального обладнання.

В умовах ринкової економіки стратегія забезпечення господарств кормами зазнала суттєвих змін. Висока вартість та нестабільна якість продукції великих державних комбікормових заводів роблять їх використання менш рентабельним. Більш перспективним шляхом є організація кормовиробництва безпосередньо на базі агропідприємств. Це дозволяє суттєво спростити логістику, зменшити енергоємність процесів та адаптувати склад корму до наявної власної сировини.

Для успішного функціонування таких локальних цехів необхідне надійне та просте в експлуатації устаткування. Агрегати для подрібнення, прецизійного дозування та змішування складають основу ліній, що забезпечують раціональне використання ресурсів та стабільний прибуток ферми.

Враховуючи вищевикладені аспекти, у даному дипломному проєкті розроблено технологічну лінію приготування кормів для відгодівельної свиноферми. Проєктне рішення базується на поєднанні сучасних зоотехнічних вимог та принципів інженерної ефективності.

.

РОЗДІЛ 1
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КОРМОПРИГОТУВАННЯ СВИНАРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1. Технологічні підходи кормоприготування та системи годівлі свиней

Ефективність сучасного свинарства значною мірою визначається вибором оптимальної технології підготовки та розподілу кормових ресурсів. Кожен із чинних методів має власний набір техніко-економічних характеристик, вибір яких залежить від масштабу підприємства, доступної сировинної бази та специфічних фізіологічних потреб тварин на різних етапах їхнього розвитку.

Основним критерієм класифікації цих технологій є агрегатний стан готового корму, що безпосередньо впливає на конструкцію ліній приготування. Найбільш поширеною є суха годівля, яка базується на використанні повнораціонних комбікормів у вигляді гранул або розсипних сумішей. Даний підхід вирізняється високою технологічністю зберігання та транспортування, а також низьким ризиком мікробіологічного псування. Завдяки високій сипучості компонентів, такі системи легко піддаються повній автоматизації, дозволяючи точно контролювати обсяги споживання. Водночас суха структура раціону вимагає безперебійної роботи систем напування та може призводити до підвищеної запиленості виробничих приміщень.

Альтернативою сухому методу є волога годівля, де раціон формується у вигляді рідких або пастоподібних сумішей на основі води, сироватки чи інших харчових відходів. Завдяки м’якій консистенції такий корм значно краще засвоюється організмом, що особливо критично для молодняка в період відлучення. Крім того, можливість інтеграції дешевих побічних продуктів харчової промисловості дозволяє суттєво знизити собівартість одиниці продукції. Проте впровадження цієї технології потребує значних

капіталовкладень у корозійностійке обладнання та герметичні трубопроводи, а також суворого дотримання санітарних норм через ризик швидкого закисання суміші.

Проміжне місце в ієрархії методів займає напівволога годівля, яка виступає раціональним компромісом між попередніми схемами. Вона поєднує високі смакові якості вологого корму зі стійкістю до псування, властивою сухим сумішам. Проте її реалізація вимагає використання складніших змішувальних агрегатів із прецизійним контролем рівня зволоження.

Поряд із фізичною формою корму, критичне значення для рентабельності ферми має організація самого процесу споживання, тобто обрана система годівлі. Найбільш інтенсивною вважається адлібітумна годівля (вволю), при якій тварини мають цілодобовий доступ до годівниць. Це стимулює максимальні темпи росту та знижує рівень агресії в групі, проте часто призводить до перевитрати дорогої сировини та ризику ожиріння поголів’я.

На противагу цьому, регламентована годівля передбачає видачу порцій за чітким графіком. Такий режим дозволяє суворо контролювати раціон відповідно до статево-вікових груп, що забезпечує економію ресурсів та дозволяє вчасно виявляти хворих тварин за їхньою харчовою активністю. Головним викликом тут залишається необхідність точного дотримання часових інтервалів, оскільки будь-які відхилення стають причиною стресу у тварин.

Отже, вибір оптимального поєднання методів приготування кормів та схеми годівлі визначається рівновагою між продуктивним потенціалом свиней та економічними ресурсами господарства. Вдосконалення цих процесів шляхом впровадження сучасного технічного оснащення є основним важелем для підвищення загальної результативності свинарського комплексу.

1.2. Аналіз технічних характеристик змішувачів кормових сумішей

Ефективність функціонування ліній приготування комбікормів

безпосередньо залежить від конструктивних особливостей змішувальних агрегатів. Оскільки головним критерієм якості процесу є досягнення високого ступеня гомогенності суміші при мінімальних витратах енергії, вибір конкретного типу обладнання потребує детального порівняльного аналізу. На сучасних свинарських підприємствах зазвичай використовують два основні типи змішувачів, що відрізняються просторовою орієнтацією робочих органів та принципом дії.

Першу групу представляють горизонтальні змішувачі, оснащені валом із лопатевими або шнековими елементами. Завдяки обертанню робочих органів у горизонтальній площині забезпечується інтенсивне переміщення компонентів, що гарантує високу рівномірність змішування. Такі установки є універсальними, оскільки дозволяють ефективно працювати не лише з сухими, а й з вологими чи липкими інгредієнтами.



Рис. 1.1. Загальний вигляд горизонтального змішувача

З точки зору енергетики, горизонтальні моделі демонструють високий ККД при роботі зі стандартними сумішами, проте їх енергоємність може суттєво зростати при обробці важких або щільних кормів. Крім того,

особливості конструкції іноді призводять до накопичення залишків продукту на стінках камери, що вимагає додаткового контролю для запобігання змішуванню рецептур різних партій.

На противагу горизонтальним системам, вертикальні змішувачі використовують конічну або циліндричну камеру з вертикально розташованим шнековим механізмом. Принцип їхньої роботи базується на циклічному підйомі матеріалу вгору з наступним його вільним падінням під дією сили тяжіння. Така схема є енергоефективною при обробці легких сипких матеріалів, проте вимагає значних витрат потужності для підняття важких фракцій корму на велику висоту. Якість змішування у таких агрегатах значною мірою залежить від геометричних параметрів шнека та висоти камери: за певних умов можливе виникнення зон нерівномірного розподілу мікродобавок.



Рис.1.2. Конструкція вертикального шнекового змішувача

Крім конструктивної схеми, важливе значення має організація самого технологічного циклу, за якою змішувачі поділяють на порційні та безперервні. Порційні агрегати (періодичної дії) працюють з окремими партіями корму, що

дозволяє досягти прецизійної точності дозування та високого контролю якості кожного замісу. Хоча циклічність процесу передбачає певні часові витрати на завантаження та вивантаження, що знижує загальну продуктивність, їхня гнучкість є незаперечною перевагою для середніх господарств.

У свою чергу, безперервні змішувачі орієнтовані на постійний потік продукції, що забезпечує їхню високу пропускну здатність. Завдяки сталому режиму роботи електродвигуна без пускових перевантажень, такі системи є найбільш енергоефективними у промислових масштабах. Проте вони складніші в налаштуванні при зміні раціону та вимагають ідеальної синхронізації з дозувальним обладнанням для підтримання стабільної якості суміші в режимі реального часу.

Підсумовуючи вищевикладене, слід зазначити, що універсального технічного рішення не існує — вибір типу змішувача має базуватися на специфічних потребах свиноферми, обсягах виробництва та фізико-механічних властивостях сировини. Горизонтальні змішувачі є оптимальними для приготування складних багатокомпонентних раціонів, тоді як вертикальні установки краще підходять для роботи з легкими сипкими сумішами. Вибір між порційним та безперервним типом роботи залежить від пріоритетності точності змішування порівняно із загальною інтенсивністю виробничого процесу.

1.3. Висновки за розділом

Проведений аналіз сучасних технологічних підходів та конструктивних рішень у галузі приготування кормів дозволяє сформулювати наступні підсумки.

По-перше, оцінка фізіологічних потреб свиней у поєднанні з вимогами до санітарного стану виробничих приміщень свідчить про доцільність впровадження технології сухої годівлі. Використання повнораціонних сухих сумішей забезпечує стабільність поживних властивостей корму протягом

тривалого часу, мінімізує ризики бактеріального забруднення та дозволяє досягти високого рівня автоматизації процесів роздавання.

По-друге, враховуючи сучасні економічні реалії та необхідність зниження собівартості продукції, встановлено пріоритетність приготування комбікормів безпосередньо в умовах господарства. Це дає змогу ефективно використовувати власну зернову сировину, оперативно коригувати рецептуру відповідно до статево-вікових груп тварин та суттєво оптимізувати логістичні витрати підприємства.

По-третє, порівняльна характеристика змішувального устаткування показала, що для досягнення високого ступеня гомогенності суміші (особливо при введенні мікродобавок та вітамінних преміксів) найбільш ефективним є використання порційного змішувача. Циклічний принцип роботи такого агрегату гарантує прецизійну точність дотримання заданих рецептурних параметрів для кожної окремої партії корму.

Таким чином, за результатами огляду світових тенденцій та техніко-економічного обґрунтування, у даному дипломному проекті до подальшої розробки прийнято лінію приготування сухих комбікормів на базі порційного змішувального агрегату. Таке рішення забезпечить раціональне використання ресурсів та стабільне зростання продуктивності тварин на відгодівельній свинофермі.

РОЗДІЛ 2
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ КОРМОПРИГОТУВАННЯ

2.1. Актуальність та передумови вдосконалення технологічного процесу

Сучасний стан галузі свинарства свідчить, що її економічна ефективність формується внаслідок комплексної взаємодії генетичного потенціалу тварин, удосконалених технологій утримання та, насамперед, якості кормової бази. Оскільки у структурі собівартості виробництва свинини витрати на годівлю становлять основну частку — близько 70–80 %, саме раціональне використання кормових ресурсів визначає конкурентоспроможність підприємств у ринкових умовах.

Незбалансованість раціону, зокрема дефіцит білка, незамінних амінокислот або мікроелементів, призводить до негативних наслідків у розвитку тварин: зниження середньодобових приростів, погіршення конверсії корму та збільшення тривалості відгодівлі. У результаті це спричиняє перевитрати кормової сировини та підвищення собівартості продукції, що робить її менш конкурентоспроможною порівняно з провідними країнами ЄС.

Аналіз світового аграрного виробництва вказує на певний дисбаланс у використанні ресурсного потенціалу України. Попри те, що держава забезпечує близько 3 % світового виробництва зернових культур на рівні провідних аграрних країн, таких як Бразилія та Канада, частка виробництва свинини становить лише близько 0,5 %. Для порівняння, зазначені країни при аналогічній зерновій базі формують 2–3 % світового виробництва м’яса. Така ситуація значною мірою зумовлена переважанням екстенсивних технологій та недостатнім рівнем механізації процесів годівлі.

Відповідно до результатів досліджень фізіології тварин, виконаних вітчизняними та зарубіжними науковцями [3, 7, 8], визначено три основні

вимоги до сучасних механізованих систем годівлі: нутрієнтна збалансованість раціонів, що передбачає використання багатокомпонентних кормових сумішей, повністю адаптованих до фізіологічних потреб тварин; прецизійне нормування, яке забезпечує подачу оптимальної кількості поживних речовин відповідно до технологічних груп; технологічна гомогенність, що гарантує рівномірне надходження всіх компонентів корму в організм тварини у вигляді однорідної суміші.

Необхідність реалізації зазначених вимог у конкретних виробничих умовах визначає актуальність розробки ефективного технологічного процесу приготування кормів. Впровадження сучасної лінії приготування комбікормів дозволить раціонально використовувати зернові ресурси, мінімізувати втрати поживних речовин і підвищити загальну рентабельність свинарського підприємства.

2.2. Аналіз раціонів та типологія сухої годівлі у свинарстві

Вибір стратегії відгодівлі тварин є багаторівневим процесом, що базується на врахуванні генетичного потенціалу породи, вікових особливостей поголів’я та цільової кондиції — м’ясної, беконної або сальної. Крім зоотехнічних чинників, суттєвий вплив на формування раціону мають регіональна доступність кормової сировини та її ринкова вартість. Саме структура раціону, тобто співвідношення окремих груп кормів за енергетичною цінністю та вмістом сухої речовини, визначає кінцевий тип годівлі.

У сучасній зоотехнічній практиці виділяють три основні категорії кормових продуктів, що формують базу живлення тварин: повнораціонні комбікорми, концентрати та білково-вітамінно-мінеральні добавки (БМВД). Повнораціонні комбікорми являють собою збалансовані суміші, які містять повний комплекс поживних речовин у заданих пропорціях і не потребують додаткового збагачення іншими компонентами. Концентрати

використовуються для коригування раціонів і компенсації дефіциту основних поживних речовин, зокрема білка та енергії. БМВД, у свою чергу, є висококонцентрованими сумішами біологічно активних компонентів, що застосовуються для збагачення зернових раціонів і підвищення їхньої біологічної цінності.

Основою комбікормів є зернова сировина — пшениця, ячмінь, кукурудза та овес, частка якої у загальній масі зазвичай становить 60–90 %. Вона забезпечує раціони основним джерелом енергії, однак характеризується відносно низьким вмістом протеїну. Саме тому одним із ключових завдань комбікормового виробництва є забезпечення високого ступеня однорідності суміші. Якість змішування безпосередньо впливає на ефективність засвоєння поживних речовин і рівень продуктивності тварин. В умовах ринкової економіки використання продукції великих комбікормових підприємств часто пов’язане з додатковими витратами на транспортування, зберігання та переробку. Наявність власної зернової бази та організація приготування кормів безпосередньо в господарстві дозволяє суттєво знизити собівартість годівлі та забезпечити контроль якості на всіх етапах виробництва.

З урахуванням зазначених чинників для проєктованого господарства обрано концентратний тип годівлі із використанням сухих повнораціонних комбікормів власного виробництва. Основу раціону становить зернова суміш пшениці та ячменю у співвідношенні 50:50 із додаванням білково-вітамінно-мінеральних добавок серії «Feedline» виробництва компанії «ТАНДЕМ-2002». Така структура раціону є економічно доцільною та забезпечує високі показники приросту живої маси тварин.

Деталізована структура раціонів для різних технологічних груп наведена у таблиці 2.1. Аналіз таблиці показує, що структура раціонів для більшості технологічних груп свиней є подібною та базується на переважанні зернової складової (85–90 %) із додаванням БМВД у межах 10–15 %. Це забезпечує необхідний баланс поживних речовин і сприяє ефективному росту тварин. Винятком є поросята-сисуни, для яких застосовується повністю

спеціалізований раціон на основі БМВД, що обумовлено їх підвищеними потребами у легкозасвоюваних поживних речовинах. Загалом така структура раціонів є обґрунтованою та відповідає вимогам сучасного свинарства.

Таблиця 2.1

Структура раціонів комбікорму для різних технологічних груп свиней

Частка зернової складової, %	Категорія свиней	Частка БМВД, %
90	Відгодівля	15
85	Поросні свиноматки	15
85	Дорощування	15
-	Поросята сисуни	100
85	Холості свиноматки	15
85	Підсисні свиноматки	15

2.3. Формування вихідних даних і вимог до якості кормів

Базисом для розробки технологічного процесу приготування комбікормів є сукупність технічних рішень, прийнятих у попередніх розділах, та суворе дотримання зоотехнічних регламентів. Вихідні дані до проєктування охоплюють обґрунтування типу годівлі, параметри поголів'я та специфічні вимоги до фізико-механічних властивостей готової продукції.

Основним чинником, що визначає добовий обсяг виробництва та продуктивність технологічної лінії, є чисельність тварин на фермі та їхні індивідуальні норми споживання. Зведені дані щодо структури поголів’я та потреби в кормах наведені в таблиці 2.2.

Ефективність використання кормів безпосередньо залежить від їхніх органолептичних та фізичних характеристик. Згідно з вимогами, повнораціонний комбікорм повинен бути візуально однорідним, не мати ознак плісняви чи затхлості, а його забарвлення має відповідати набору інгредієнтів раціону.

Важливим технологічним параметром є дисперсність (ступінь помелу) зернової сировини, яка регулюється відповідно до фізіологічних особливостей

тварин. Ступінь розмелу оцінюється за залишками фракцій на ситах певного діаметру. Для тонкого розмелу залишок на 2-мм ситі не повинен перевищувати 5%, а фракції понад 5 мм мають бути повністю відсутні. Середній розмел допускає до 12% залишку на 3-мм ситі, тоді як для крупного розмелу цей показник може сягати 35% за умови, що частка фракцій понад 5 мм не перевищує 5%.

Таблиця 2.2

Структура поголів’я та добова потреба тварин в кормах

Обсяг добового споживання кормів на голову, кг	Категорія поголів'я	Поточна чисельність поголів'я, гол
4,0	Свині на фінальному етапі відгодівлі	1950
0,4	Молодняк свиней у підсисному періоді	1660
2,2	Молодняк для поповнення основного стада	52
10,0	Племінні самці	10
3,2	Свиноматки в період супоросності	215
2,7	Свиноматки поза репродуктивним циклом	270
1,4	Молодняк свиней у фазі дорощування	2015
5,1	Свиноматки в секторі опоросу	166

Загальні стандарти якості обмежують вологість комбікорму рівнем 14,5–15,0%, вміст металомагнітних домішок — до 25 мг/кг, а частку піску — не більше 0,5%. Критичне значення має однорідність суміші: при розведенні активних компонентів у пропорції 1:100 ступінь гомогенності має становити щонайменше 95%.

Окремі вимоги регламентовані для білково-вітамінно-мінеральних добавок (БМВД). Їхня вологість не повинна перевищувати 14%, частка фракцій розміром понад 3 мм — до 10%, а вміст перетравного протеїну має становити не менше 25%. У разі введення до складу трав’яного борошна загальний вміст клітковини може бути збільшений до 11% (при базовому значенні 8%).

Сукупність цих даних і вимог є фундаментом для розрахунку технологічних операцій та підбору комплексу машин і обладнання для кормоцеху.

2.4. Оцінка діючої технології приготування кормів на фермі

Ефективність функціонування свинарського підприємства безпосередньо залежить від технічного рівня обладнання кормоцеху. До останнього часу в господарстві експлуатувався комбікормовий цех марки ОКЦ-15. Його технологічний процес організований за принципом розділення потоків сировини: компоненти, що не потребують подрібнення (висівки, шроти), після очищення на решітному стані (3) надходять безпосередньо у бункери інгредієнтів (9), тоді як зернова складова спочатку проходить подрібнення в дробарці (10), а далі через систему циклонів (5) та шнекових транспортерів розподіляється у відповідні ємності. Формування кінцевого продукту здійснюється шляхом налаштування дозаторів (8) відповідно до заданої рецептури. Змішування компонентів відбувається у горизонтальному змішувачі, після чого готовий комбікорм подається у лінію годівлі або накопичувальний бункер (7) для подальшого використання.

Для переробки концентрованих компонентів та виготовлення повнораціонних комбікормів безпосередньо в умовах аграрних підприємств, що спеціалізуються на тваринницькій продукції, знаходять застосування компактні установки та локальні виробничі модулі. На сучасному ринку технологічного обладнання спостерігається значне розширення асортименту цих систем. Зазначене устаткування продукується вітчизняними машинобудівними підприємствами, а також у значних обсягах імпортується від зарубіжних виробників.

Сучасні комбікормові агрегати демонструють суттєву структурну схожість. Їхній типовий конструктивний склад включає такі ключові елементи: систему для точного дозованого подавання вихідних інгредієнтів, подрібнюючий модуль переважно роторно-молоткового типу та змішувальний бункер.

Значна варіативність показників техніко-економічної ефективності сучасних установок зумовлює необхідність проведення їхньої комплексної

оцінки. Це є обов'язковою умовою для прийняття раціонального рішення щодо вибору обладнання, яке б повною мірою відповідало потребам конкретного типорозміру господарства.

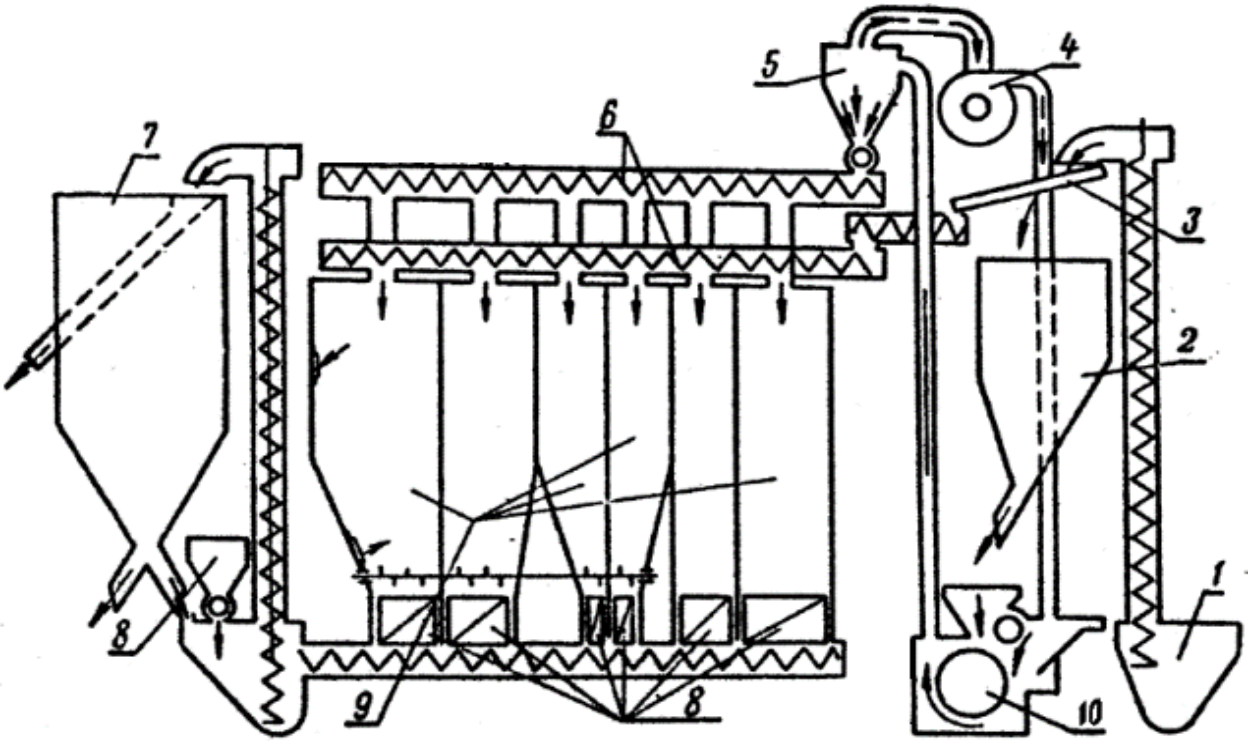


Рис. 2.2. Схема технологічного процесу комбікормового цеху ОКЦ:

1 – приймальний бункер; 2 – проміжний бункер; 3 – решітний стан; 4 – пристрій для подачі повітря; 5 – циклонний пиловловлювач; 6 – розподільні шнеки; 7– бункер; 8 – дозувальні пристрої; 9 – накопичувальні ємності для підготовлених компонентів; 10 – подрібнювальний пристрій

Сучасні комбікормові агрегати та цехи класифікують за декількома ключовими ознаками: за організацією процесу (порційно-періодичної або безперервної дії), способом дозування (вагове або об'ємне) та рівнем автоматизації допоміжних операцій. Аналіз якісних показників роботи свідчить, що вирішальну перевагу за точністю дотримання рецептури мають агрегати, оснащені тензометричними пристроями, наприклад, M-ROL-2000, МКУ-1,5, «Авіла М 2». Натомість системи з об'ємним дозуванням, зокрема комплекти ОКЦ, УМК-Ф-2 та МАК-1, суттєво поступаються за показником прецизійності змішування компонентів.

Кращими показниками щодо рівномірності змішування відзначаються

агрегати періодичної дії з порційними змішувачами — саме такий підхід переважає у більшості сучасних рішень. Окремо слід виділити агрегати з нестандартними технологіями: МАК-1 із вальцьовою плющилкою, що мінімізує пилоутворення, та АКГСМ «Мрія», що готує гомогенні суспензії, здатні підвищити прирости живої маси на 16,8%.

Для комплексної оцінки агрегатів за умови рівноцінності критеріїв доцільно використовувати метод інтегрального критерію «відстані до цілі». Результати ранжування свідчать, що найкращі показники ефективності мають агрегати марок «Полимя» (з дробаркою ДКМ-3,3) та M-ROL-2000. Досвід експлуатації підтверджує, що найбільш раціональними є машини з продуктивністю не менше 1 т/год.

Найвищі показники гомогенності суміші демонструють агрегати періодичної дії з порційними змішувачами, оскільки саме цей принцип є домінуючим у сучасних лініях кормоприготування. Певним винятком є малогабаритна установка УМК-Ф-2 виробництва ВО «Уманьферммаш», де реалізовано потоковий метод подрібнення та змішування. Проте специфіка її монтажу, що потребує додаткових капітальних будівельних робіт, дещо обмежує її широке застосування в умовах діючих ферм.

Поряд із традиційними рішеннями варто розглянути агрегати з унікальними конструктивними особливостями. Наприклад, агрегат МАК-1 на відміну від більшості аналогів оснащений вальцьовою плющилкою замість молоткової дробарки. Таке рішення забезпечує низьку енергоємність процесу, а готовий продукт майже не містить малоякісного пилоподібного залишку. Також слід відзначити агрегат АКГСМ «Мрія», призначений для приготування гомогенних кормових суспензій. Завдяки роботі жорен гідромлина на високих обертах відбувається емульсування та термічна обробка корму, що сприяє його частковому осолоджуванню. Застосування таких вологих раціонів дозволяє підвищити добові прирости живої маси свиней на 16,8 % порівняно з традиційними методами годівлі.

Зважаючи на таку технологічну різноманітність, раціональний вибір

обладнання неможливий на основі лише одного критерію. Для об’єктивної оцінки альтернатив доцільно застосовувати метод інтегрального критерію відстані до цілі. Суть цього підходу полягає у порівнянні кожного варіанта з ідеалізованою моделлю, якій приписуються найкращі значення всіх досліджуваних параметрів, таких як продуктивність, точність дозування та енергоємність. Така комплексна методологія дозволяє нівелювати суб’єктивність при виборі та визначити ту альтернативу, яка максимально наближена до ідеальних технологічних показників у конкретних умовах господарства.

За результатами комплексної оцінки доцільно навести ранжування порівнюваних варіантів комбікормових агрегатів. Відповідно до проведеного аналізу найкращі показники ефективності демонструють агрегати «Полимя» з дробаркою ДКМ-3,3 та M-ROL-2000. Високі показники, де комплексний критерій є меншим за одиницю, також мають агрегати МКУ-1,5, «Полимя» з дробаркою ДКМ-2,0 та МКУ-1,0. Сюди ж можна віднести установки «Полимя» з дробаркою ДКМ-1,6, УМК-Ф-2, МАК-1, «Ніагара» та «Авіла М-2». Слід зазначити, що кращі техніко-економічні характеристики мають агрегати, продуктивність яких становить не менше ніж 1 т/год. Це підтверджує доцільність використання машин саме такої раціональної продуктивності для забезпечення потреб поголів’я при мінімальних питомих витратах ресурсів.

Для забезпечення безперервності процесу приготування комбікормів агрегатами з порційними бункерами-змішувачами раціонально використовувати спарену систему в комплекті з однією молотковою дробаркою та двома змішувачами. У цьому контексті закономірною є низька ефективність міні-агрегатів типу АКГСМ «Мрія-03» та AWF-4, оскільки їхня мала продуктивність відчутно збільшує питомі ресурсозатрати, що погіршує загальну ефективність їхнього застосування на фермі.

Попри відносно високу потужність комплектів обладнання комбікормових цехів серій ОЦК та ОКЦ, комплексний показник їхньої ефективності поступається більшості сучасних малогабаритних агрегатів. Цехи

ОЦК-4 та ОЦК-8 зазвичай містять чотири технологічні блоки, включаючи приготування білково-вітамінних добавок, рідких добавок та лінію гранулювання. Хоча така структура забезпечує можливість одержання широкої номенклатури кормів та реалізацію складних технологічних схем, наявність розгалуженої системи бункерів для накопичення інгредієнтів і конвеєрів для їх перерозподілу значно ускладнює конструкцію. Унаслідок цього різко зростають маса обладнання та встановлена потужність електроприводів, що зумовлює вищу собівартість виробництва комбікормів порівняно з використанням більш раціональних і ефективних комбікормових агрегатів безпосередньо в господарстві. Таким чином, наведені аргументи стають обґрунтованим підґрунтям для подальшого технічного переоснащення лінії приготування кормів.

2.5. Конструктивно-технологічне обґрунтування запропонованої лінії кормоприготування

Враховуючи детальний аналіз переваг та недоліків розглянутих вище технічних рішень, для реалізації в умовах проєкту прийнято технологічну схему на основі мінікомбікормової установки МКУ-1,5. Вибір даного агрегату зумовлений його високою точністю дозування завдяки тензометричній системі зважування та оптимальною продуктивністю, що відповідає потребам розрахункового поголів’я господарства. У запропонований варіант внесено певні конструктивні зміни, спрямовані на підвищення надійності роботи та автоматизацію подачі вихідних компонентів.

Технологічна схема розробленого варіанту, що приведена на рисунку 2.2 та першому аркуші графічної частини проєкту, відображає послідовність операцій від завантаження зернової сировини до отримання готової суміші. Процес розпочинається з парканного пристрою, який за допомогою пневматичного шланга подає зерно в молоткову дробарку. Наявність

сепаратора зі змінними ситами дозволяє регулювати ступінь розмелу відповідно до зоотехнічних вимог для різних вікових груп свиней.

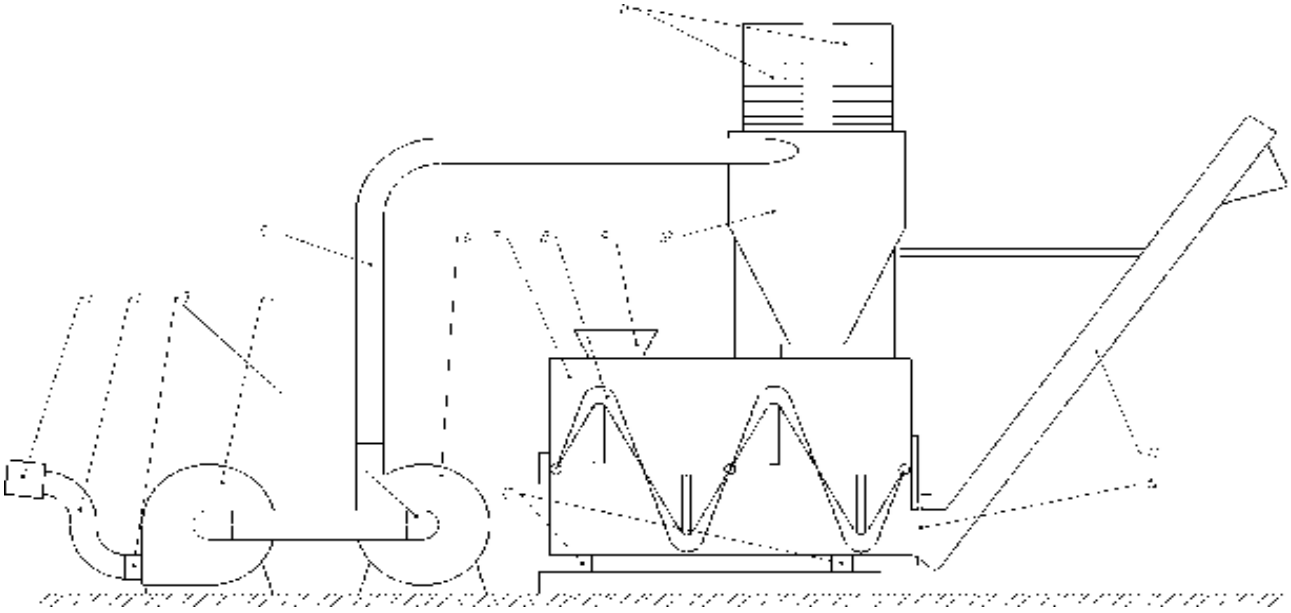


Рис. 2.2. Схема функціональних зв’язків та основних вузлів установки МКУ-1,5

Подрібнена маса через циклон-заспокоювач надходить у вертикальний змішувач, який встановлений на тензометричних опорах. Це дозволяє в режимі реального часу контролювати масу кожного інгредієнта, що вводиться в раціон. Після досягнення заданої ваги зернової складової до змішувача через спеціальний завантажувальний люк додаються білково-вітамінно-мінеральні добавки та інші мікрокомпоненти.

Завершальним етапом процесу є примусове перемішування суміші вертикальним шнеком протягом встановленого технологічного часу, що забезпечує гомогенність корму на рівні не менше 95 %. Готовий повнораціонний комбікорм вивантажується через вихідний патрубок безпосередньо в транспортні засоби або накопичувальні місткості. Такий підхід дозволяє суттєво знизити питомі енерговитрати на одиницю продукції та забезпечити стабільну якість годівлі тварин.

2.6. Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу та виконання технологічних розрахунків у даному розділі отримано наступні результати. По-перше, обґрунтовано та розроблено раціональну технологічну схему приготування комбікормів для свиноферми. Процес передбачає використання зернової складової, що пройшла попереднє очищення та зберігається в силосах. Подрібнення зерна здійснюється установкою МКУ-1,5, після чого компоненти по черзі надходять до змішувача періодичної дії. Висока точність рецептури забезпечується інтегрованою тензометричною системою вагового дозування, яка дозволяє вводити необхідні обсяги БМВД відповідно до фізіологічних потреб конкретних технологічних груп тварин.

По-друге, відповідно до розрахованої продуктивності лінії, що становить 1,7 т/год, здійснено вибір комплекту основного та допоміжного обладнання. Визначено необхідну кількість одиниць техніки, що дозволяє повністю забезпечити добову потребу господарства у високоякісних комбікормах при оптимальних енергетичних витратах. Аналіз існуючих конструкцій підтвердив доцільність використання порційного змішування для досягнення нормативного показника гомогенності суміші на рівні не менше 95 %. Також виявлено потенціал для підвищення ефективності роботи обраного обладнання за рахунок модернізації його ключових вузлів.

За результатами розрахунків та прийнятих рішень у наступному розділі проєкту буде проведено вдосконалення конструкції змішувача установки МКУ-1,5. Це дозволить адаптувати обладнання до визначених розрахункових умов та підвищити якість готової продукції при одночасному зниженні енергоємності процесу змішування, що є логічним продовженням розробки технологічної лінії.

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ СИПКИХ КОРМІВ

3.1. Актуальність удосконалення процесу змішування комбікормів

Приготування комбікормів безпосередньо в умовах господарства сьогодні супроводжується низкою проблем, головною з яких є дефіцит спеціалізованого устаткування та проєктів потокових ліній, що могли б бути адаптовані до існуючих будівель тваринницьких ферм. Підвищення вимог до якості готових сумішей та необхідність зниження ресурсовитрат при їх виробництві вимагають впровадження змішувачів більш досконалих конструкцій, а також малогабаритних комбікормових установок. Це, у свою чергу, зумовлює потребу в детальному вивченні сутності процесу змішування компонентів із подальшою розробкою нових типів змішувачів та їхніх робочих органів [10, 11].

Одним із пріоритетних завдань комбікормового виробництва є отримання стабільно рівномірної за складом суміші. Від ступеня досконалості процесу змішування безпосередньо залежать якість і вихід тваринницької продукції, а також рівень витрат матеріально-енергетичних ресурсів на її отримання. В умовах сучасної економіки використання комбікормів промислового виробництва часто стає малоефективним через їх високу собівартість та нестабільні показники якості. Саме тому зростає потреба у створенні технічних засобів для приготування кормів безпосередньо у господарствах.

Такий підхід дозволяє суттєво спростити технологічне оснащення, зменшити питому металоємність та енергоємність процесу, а також значно скоротити транспортні видатки. Використання власної сировинної бази сприяє раціональному та ефективному застосуванню кормових ресурсів господарства, що призводить до загального зниження витрат на годівлю. Для успішної

організації виробництва необхідні надійні та прості в експлуатації агрегати для подрібнення, дозування та змішування, які б дозволяли отримувати повнораціонні суміші, збагачені необхідними добавками промислового виробництва. Таким чином, модернізація змішувального обладнання є ключовим фактором забезпечення ефективності всього кормоприготувального цеху.

3.2. Оцінка конструкцій змішувального обладнання та шляхів їх вдосконалення

До складу обраної установки МКУ-1,5 входить горизонтальний змішувач, оснащений робочим органом у вигляді спіралі з односторонньою навивкою. Конструктивна особливість такої спіралі полягає у транспортуванні зернової суміші лише в одному напрямку без забезпечення активного зворотного руху часток. Це призводить до зростання загального часу, необхідного для досягнення нормативної гомогенності суміші, та підвищує питомі енерговитрати на одиницю готової продукції.

З метою оптимізації даної конструкції та підвищення її експлуатаційної ефективності необхідно провести детальний огляд існуючих технічних рішень. Особливу увагу слід приділити пропозиціям щодо вдосконалення робочих органів, які дозволяють інтенсифікувати процес перемішування за рахунок створення зустрічних або перехресних потоків матеріалу.

Аналіз патентної документації та сучасного досвіду виробництва змішувального обладнання дозволить визначити найбільш раціональні шляхи модернізації змішувача установки МКУ-1,5. Основним критерієм вибору напряму вдосконалення є можливість досягнення високої якості змішування при мінімальних змінах базової конструкції агрегату, що забезпечить надійність та простоту його подальшої експлуатації в умовах господарства.

3.2.1. Класифікація та конструктивні особливості кормозмішувачів

Змішувальне обладнання, що застосовується у сучасному тваринництві, характеризується значною різноманітністю конструктивних рішень та принципів функціонування. Така варіативність зумовлена необхідністю підготовки кормових сумішей із компонентів, що мають суттєві відмінності у фізико-механічних властивостях, зокрема за гранулометричним складом, щільністю, геометрією частинок та рівнем вологості [10]. Окрім безпосередньої гомогенізації, технологічний процес нерідко супроводжується тепловими явищами та вторинним подрібненням інгредієнтів, що також виступає важливим фактором при виборі конкретної моделі обладнання.

З огляду на ці особливості, змішувачі сипких матеріалів класифікують за низкою ключових ознак. За характером технологічного циклу їх поділяють на апарати безперервної та періодичної дії, а за способом розміщення — на стаціонарні та мобільні установки [11]. Конструктивне виконання робочих органів передбачає горизонтальне, вертикальне або похиле їх розташування. За напрямком руху матеріальних потоків розрізняють змішувачі з паралельним або протидійним рухом компонентів. Механізм перерозподілу частинок зазвичай базується на конвективному, дифузійному або комбінованому принципах, основні схеми яких представлено на рисунку 3.1.

Додатково технічні засоби класифікують за типом впливу на суміш (гравітаційні, відцентрові, пневматичні), за конструкцією корпусу (з обертовим або стаціонарним кожухом) та швидкісними режимами роботи робочих органів (тихохідні та швидкохідні). За типом робочих елементів виділяють шнекові, лопатеві, центробіжні, валкові та інші модифікації [12]. У галузі тваринництва найбільш поширеними для приготування сухих кормів є шнекові вертикальні змішувачі періодичної дії, тоді як барабанні конструкції застосовуються значно рідше.

У суміжних індустріях, зокрема в хімічній технології, для роботи з сипкими середовищами широко використовують апарати періодичної дії, які за

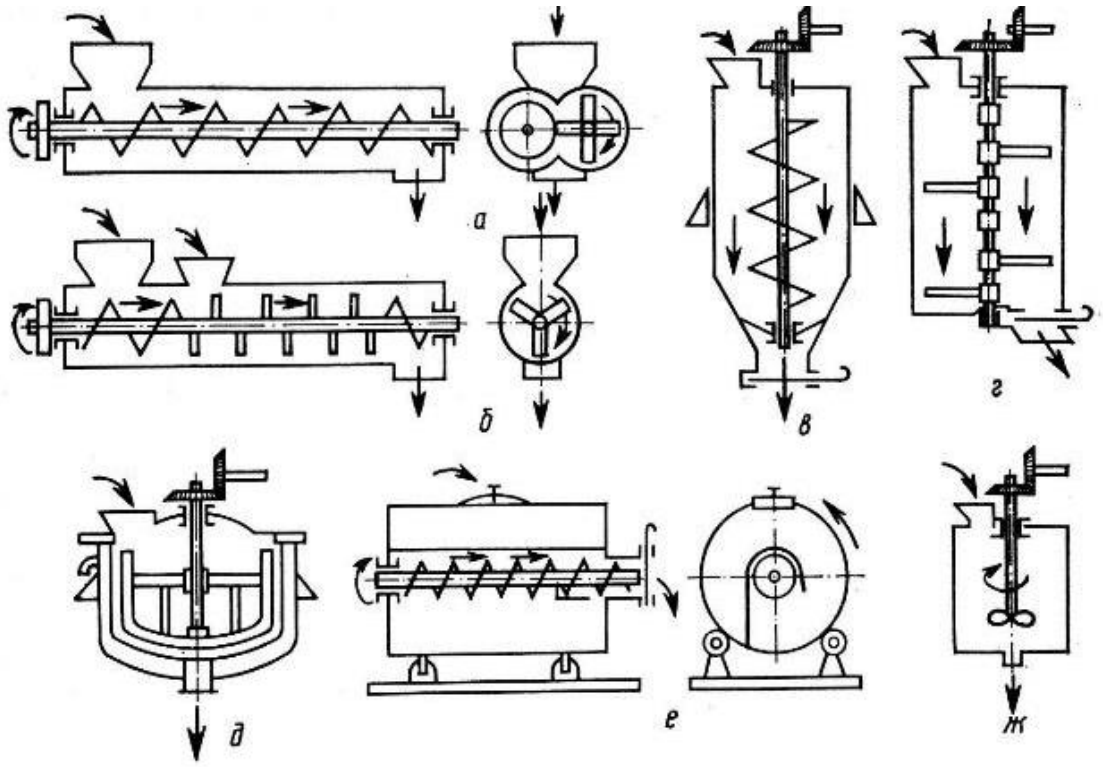


Рис. 3.1. Принципові схеми конструктивного виконання змішувального обладнання для підготовки сипучих компонентів:

а – горизонтальний апарат шнекового типу; б – горизонтальний апарат шнеково-лопатевого типу безперервної дії; в – вертикальний апарат шнекового типу; г, д – змішувачі лопатевого типу; е – змішувач барабанного типу; ж – пропелерного типу

фізичним механізмом процесу поділяють на циркуляційні (рис. 3.2), об’ємні та дифузійні. У циркуляційних установках рух матеріалу відбувається за замкненим циклом у внутрішньому об’ємі апарата. Найбільш ефективними серед них є планетарно-шнекові та відцентрово-лопатеві моделі. У першому випадку інтенсивна циркуляція досягається подвійним обертанням шнека — навколо своєї осі та осі апарата, а в другому — за рахунок високої швидкості робочих органів (10–15 м/с), що забезпечує перехід матеріалу в стан псевдозрідження [13].

До самостійної та важливої категорії обладнання, призначеного для інтенсивного перемішування, належать апарати об’ємного типу (див. рис. 3.3). У цих установках ключову роль відіграють спеціалізовані активні елементи або перемішувальні органи, які представлені у формі Z-подібних лопатей,

плужників чи спіралей. Ці механізми активно впливають на матеріал, ініціюючи інтенсивне, тривимірне хаотичне переміщення та безперервне довільне пересування частинок по всьому доступному робочому простору. Саме завдяки цьому такі змішувачі визнані найбільш ефективними та ідеально підходять для обробки зволожених сумішей, а також для гомогенізації компонентів, що характеризуються високим ступенем зв’язаності, підвищеною в'язкістю або значною схильністю до злипання.

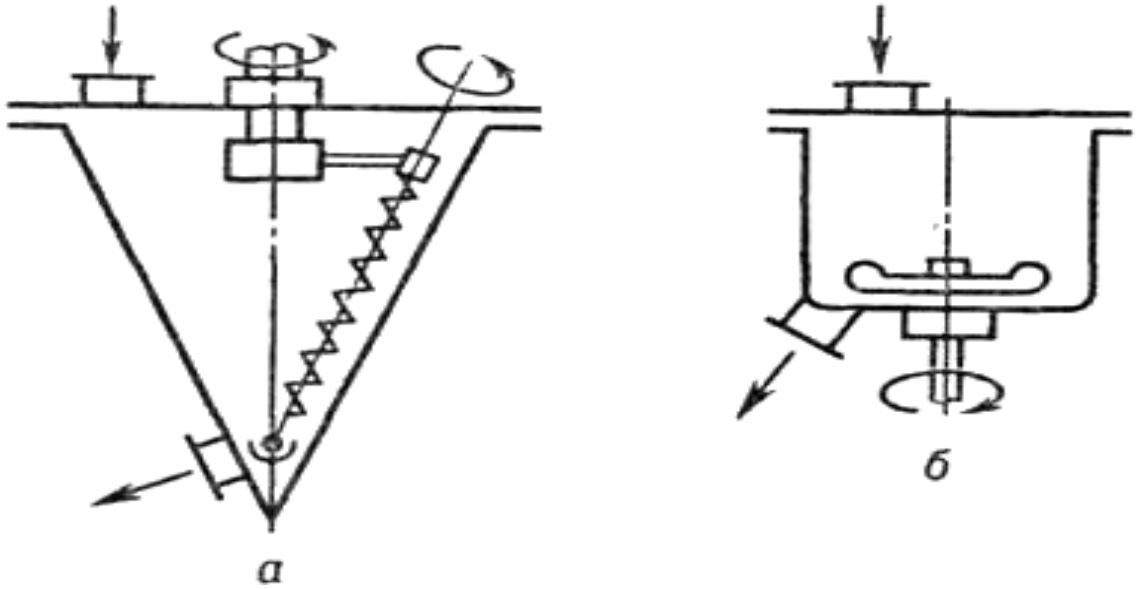


Рис. 3.2. Типові конструктивні схеми циркуляційних змішувачів:

а - апарат планетарно-шнекового типу; б -пристрій відцентрово-лопатевої конфігурації

Крім уже згаданих типів обладнання, у промисловості активно функціонують також спеціалізовані агрегати дифузійного типу, принцип дії яких ґрунтується на взаємному проникненні частинок різноманітних компонентів. Цей процес змішування значною мірою імітує природні механізми молекулярної дифузії, забезпечуючи досягнення високого ступеня гомогенності суміші.

Серед ключових представників цієї категорії варто виділити вібраційні трубчасті змішувачі, агрегати з псевдозрідженим (киплячим) шаром, а також барабанні апарати, що вирізняються спеціально обробленою гладкою внутрішньою поверхнею. Саме ці конструктивні рішення є особливо цінними та широко застосовуються для обробки речовин, які характеризуються

підвищеною абразивністю або потенційною вибухонебезпечністю, оскільки мінімізують механічне зношування обладнання та ризики іскроутворення.

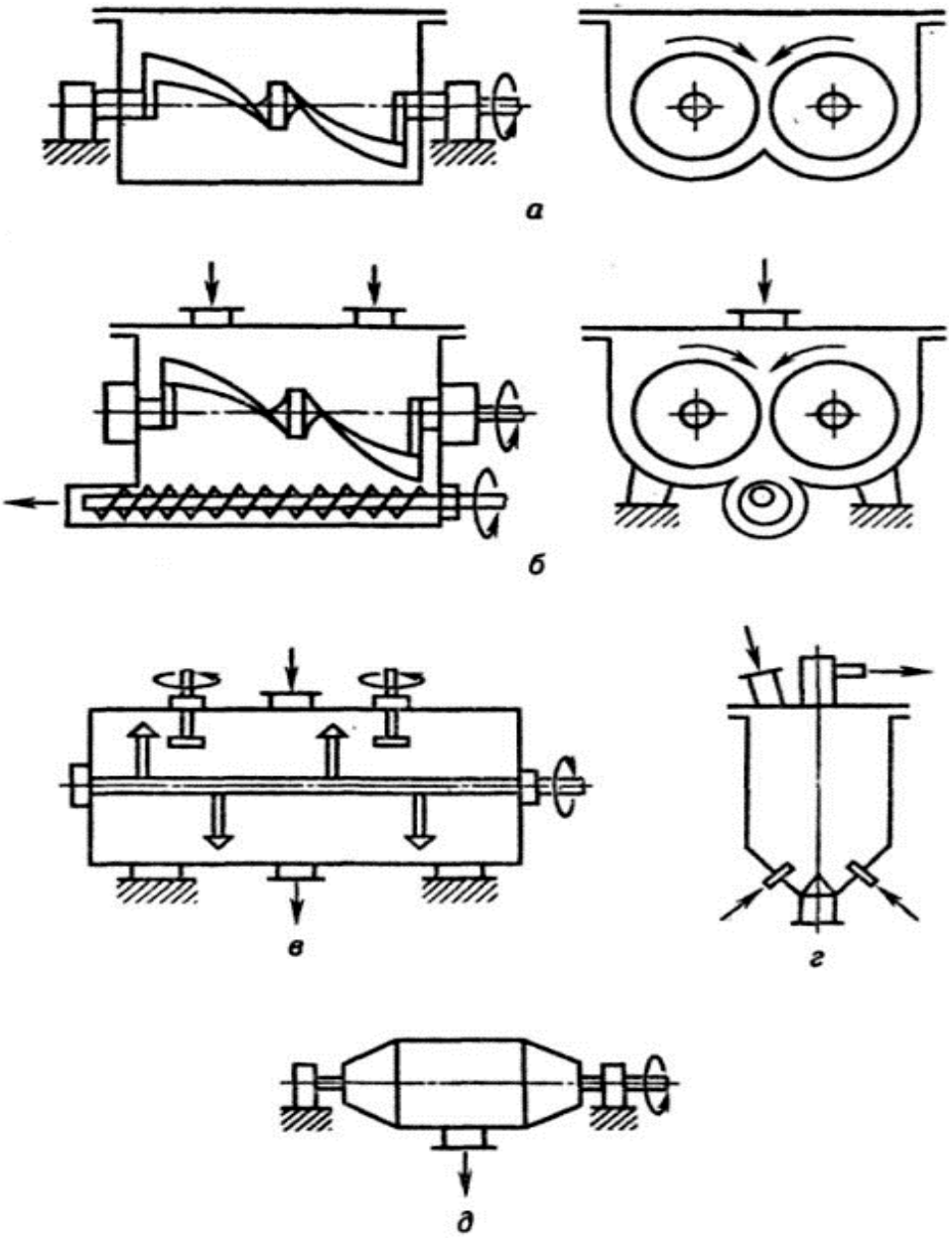


Рис. 3.3. Пристрої для об'ємного перемішування та гомогенізації матеріалів:

а - з Z - подібними лопатями; б - з Z-о подібними мішалками, доповнена розвантажувальним гвинтовим конвеєром; в-плужний; г - пневматичний струминний (сопловий) апарат:; д - юарабанний змішувальний пристрій

Отже, для успішного вибору оптимальної конструкції змішувального апарату необхідно провести всебічний та глибокий аналіз як фізико-хімічних і технологічних властивостей вихідної сировини, так і чітко сформульованих

вимог до бажаного рівня однорідності кінцевого продукту, що є визначальним фактором ефективності виробничого процесу.

3.2.2. Аналіз патентних рішень та досвіду експлуатації аналогів змішувачів

Функціональні компоненти змішувальних агрегатів є ключовими елементами технологічного обладнання, призначеного для формування багатокомпонентних кормових сумішей у тваринницькому секторі. У кормозмішувачах як періодичної, так і безперервної дії, після етапу завантаження вихідних інгредієнтів, застосовуються різнотипні шнекові, лопатеві та стрічкові робочі механізми. Їхня дія зумовлює інтенсивне просторове переміщення частинок, спрямоване на досягнення однорідної консистенції кінцевого продукту. Проте, значна частина наявних конструктивних рішень характеризується певними обмеженнями, що включають: недостатній рівень гомогенності суміші, низьку питому продуктивність та високу енергетичну витратність технологічного циклу.

Для усунення зазначених проблем у патенті АС № 3928 [14] запропоновано вдосконалення стрічкового лопатевого змішувача. Основна ідея моделі полягає у використанні гвинтових стрічкових лопатей уздовж осі вала з постійним або змінним кроком. Конструкція додатково обладнана секторними лопатями по зовнішній кромці стрічки та радіальними пальцями на її внутрішній частині (рис. 3.4).

Цей інноваційний підхід забезпечує значно ефективніше диспергування загальної маси компонентів, сприяючи інтенсивному переміщенню конгломератів частинок та їх гомогенному розподілу по всьому об'єму оброблюваної суміші. Застосування даної продуманої конструкції не лише сприяє суттєвому підвищенню якості гомогенізації, але й мінімізує механічний вплив на матеріал, одночасно демонструючи поліпшені показники

енергоефективності процесу.

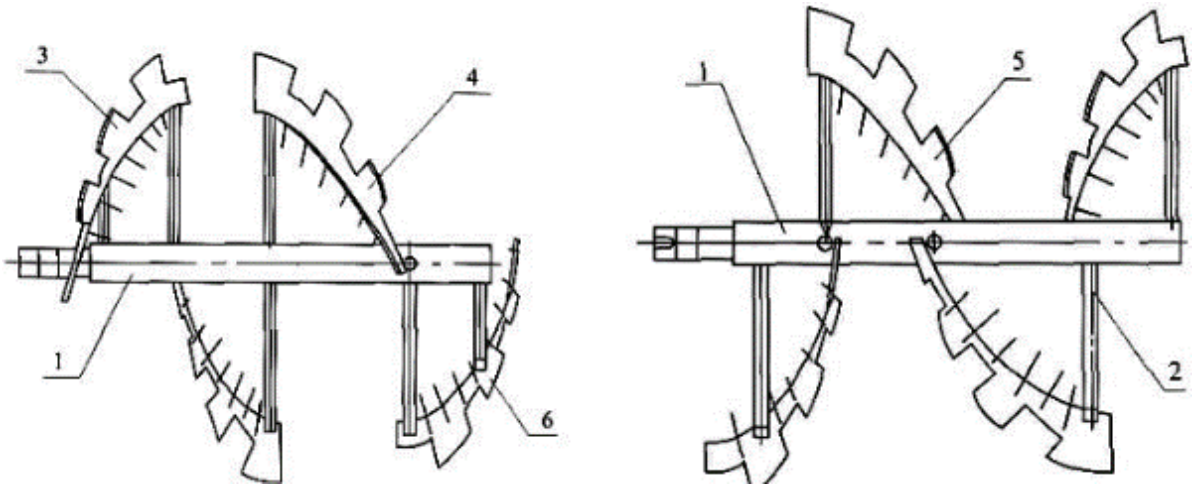


Рис. 3.4. Структурна схема, пов'язана з авторським свідоцтвом № 3928

Подальша інтенсифікація процесу відображена в АС № 63424 [15], де задача підвищення якості вирішується шляхом секційного поділу мішалки. Одна секція оснащена гвинтовими стрічками та радіальними пальцями, а інша — багатосекційними плоскими лопатями, що розташовані по периферії під різними кутами до осі вала. Лопаті встановлені у парних рядах із розрахунковим кроком, а радіальні пальці на протилежних поверхнях труб прискорюють дифузійні процеси в мікрооб’ємах суміші (рис. 3.5).

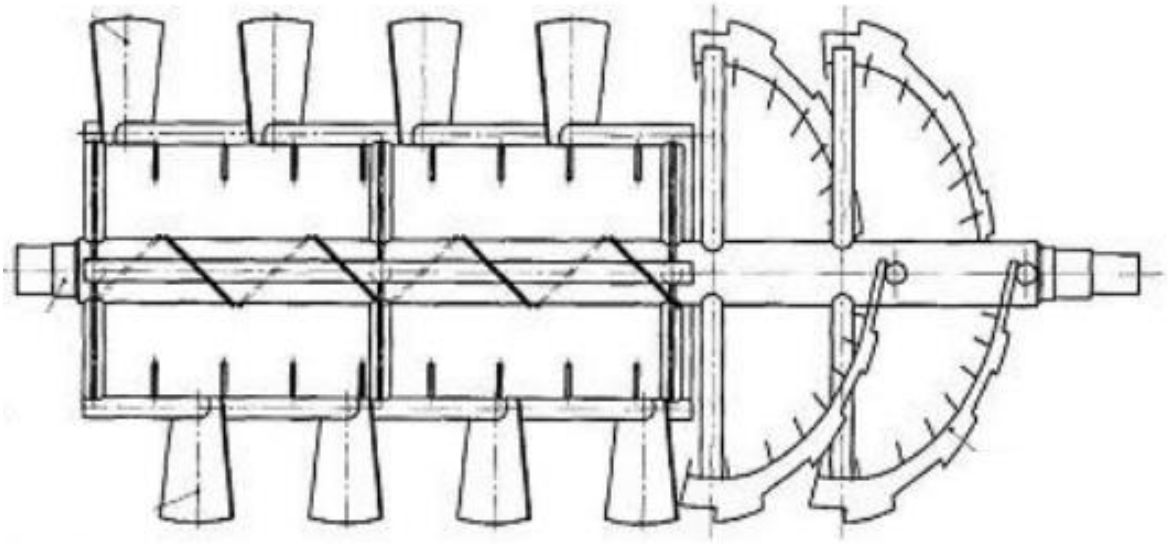


Рис. 3.5. Графічна інтерпретація сутності технічного рішення, закріпленого АС № 63424

У харчовій промисловості значного поширення набули стрічкові змішувачі, що базуються на принципі різноспрямованих потоків. Прикладом є змішувач горизонтального типу зі стрічково-шнековою мішалкою (рис. 3.6),

призначений для роботи з порошкоподібними дрібнодисперсними матеріалами [16]. Робочий процес тут організований через створення чотирьох зустрічних потоків, напрямок яких періодично змінюється завдяки реверсуванню вала.

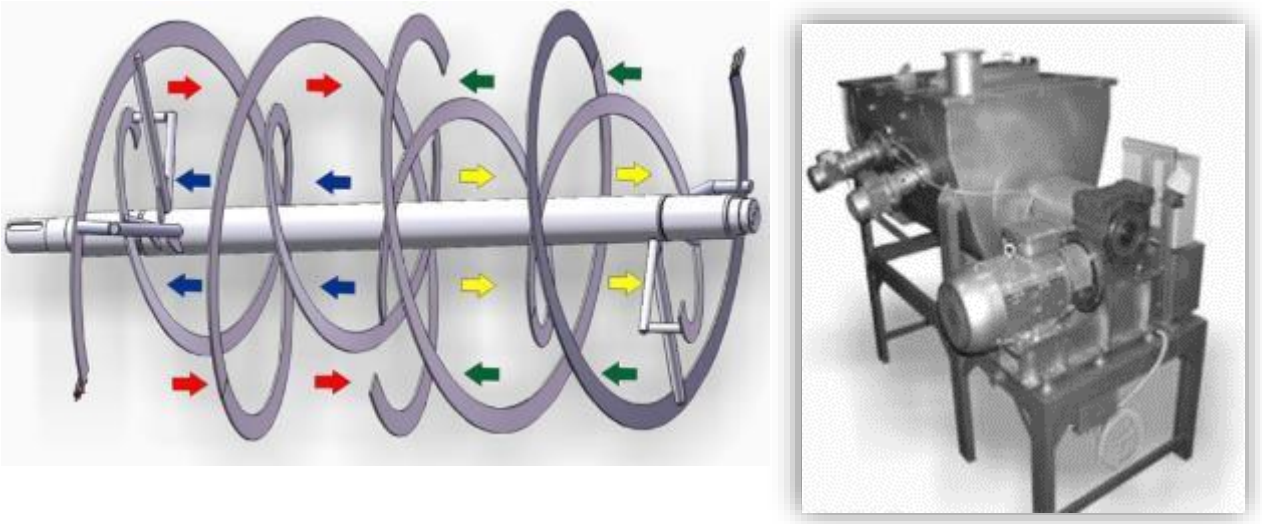


Рис. 3.6. Змішувальний апарат горизонтальної конфігурації, обладнаний стрічково-шнековим перемішувальним елементом

Змішувальні пристрої цієї категорії демонструють виняткову ефективність у забезпеченні високого ступеня гомогенності сумішей та рівномірного розподілу компонентів, що є критично важливим для багатьох технологічних процесів. Проте, їхньою характерною особливістю є відносно високе споживання електричної енергії, що зумовлює підвищені експлуатаційні витрати. Незважаючи на цей енергетичний аспект, саме цей тип змішувального апарату є оптимальним кандидатом для обрання в якості прототипу для майбутніх модернізацій та вдосконалень. Його конструктивна схема максимально наближена до схеми змішувача агрегату МКУ-1,5, стандартний робочий орган якого у своїй базовій конфігурації оснащений лише одинарним стрічковим гвинтом, що забезпечує однобічний напрямок переміщення продукту.

Подальше впровадження механізмів, які сприятимуть зустрічному руху часток матеріалу в робочій камері, дозволить суттєво підвищити загальну операційну ефективність та продуктивність роботи установки МКУ-1,5, виводячи її на новий рівень функціональності.

3.3. Конструктивна розробка модернізованого робочого органу змішувача

3.3.1. Технологічна схема та опис конструктивних змін

Відповідно до прийнятих технічних рішень, об'єктом удосконалення є робочий орган змішувача установки МКУ-1,5. Замість базової конструкції з однією однонаправленою гвинтовою стрічкою (рис. 3.7, а), пропонується застосування двоспіральної мішалки, що складається з двох різноспрямованих стрічок, розміщених одна всередині іншої (рис. 3.7, б).

При такій схемі паралельні гілки зовнішньої та внутрішньої стрічок мають нахил у протилежних напрямках. Під час роботи зовнішня стрічка за напрямком обертання вала транспортує зернову суміш до центру змішувача, тоді як внутрішня — переміщує матеріал від центру до периферії. Така організація зустрічних потоків дозволяє інтенсифікувати процес перемішування, скоротити його тривалість та забезпечити вищу гомогенність готового корму.

По завершенню циклу змішування у центральній нижній частині бункера відкривається розвантажувальне вікно. Готова суміш під дією гравітації та примусового руху робочих органів вивантажується на похилий шнек, який подає її до транспортного засобу або накопичувального бункера.

Для впровадження запропонованої конструкції необхідно виконати комплекс розрахунків геометричних, кінематичних та силових параметрів змішувача, а також провести перевірку окремих елементів робочого органу на міцність і жорсткість.

3.3.2. Інженерне обґрунтування геометрії змішувального обладнання

Визначення геометричних параметрів змішувача є одним із ключових

етапів проєктування змішувального обладнання технологічної лінії приготування сипких кормів. Від правильності вибору основних розмірів робочих ємностей та елементів змішування залежить не лише продуктивність установки, але й якість отримуваної кормової суміші, енергоефективність процесу та стабільність роботи обладнання в цілому.

На даному етапі проєктування вихідними даними є задана продуктивність технологічної лінії, фізико-механічні характеристики компонентів кормової суміші, а також прийнята конструктивна схема змішувача, яка визначає характер руху матеріалу в робочій камері. Особливу увагу приділяють насипній щільності кормів, ступеню заповнення робочого об’єму та тривалості циклу змішування, оскільки саме ці параметри безпосередньо впливають на розрахунок необхідного об’єму бункера.

Крім того, при проєктуванні враховуються конструктивні обмеження базової машини-аналога (МКУ-1,5), що визначають допустимі габаритні розміри змішувача, довжину робочої камери та можливості компонування елементів у межах існуючої компоновки. Це дозволяє забезпечити сумісність розроблюваного обладнання з існуючими технологічними лініями.

Отримані розрахункові залежності дають можливість обґрунтувати основні розміри бункера та робочих органів змішувача, забезпечуючи при цьому необхідну продуктивність, рівномірність перемішування та надійність роботи конструкції в умовах експлуатації..

Необхідний об’єм бункера визначається за залежністю (3.1).

$$V = Q_л / (\rho \cdot \psi \cdot k \cdot n_ц) м^3 , \quad (3.1)$$

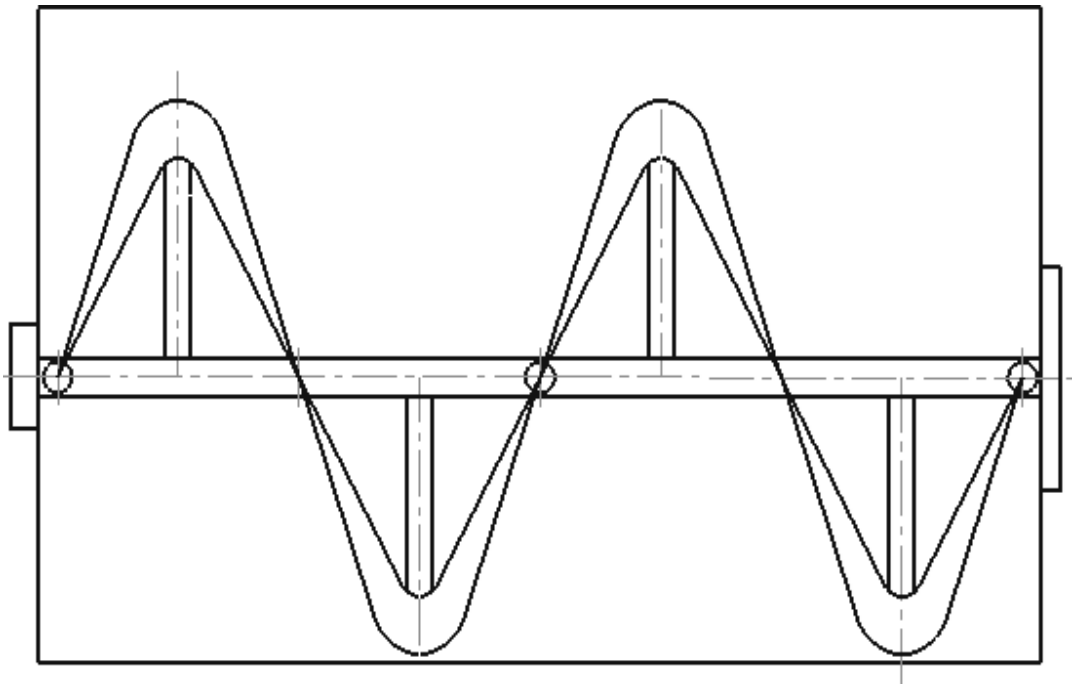
Де ψ - коефіцієнт завантаження робочого об'єму. Відповідно до джерела [11], для змішувачів лопатевого типу його емпіричні значення коливаються в діапазоні 0,8–0,9. Для подальших розрахунків прийнято значення ψ = 0,85.коефіцієнт завантаження.

$Q_л$ – показник продуктивності виробничої лінії, який, згідно з пунктом 2.6, дорівнює 1,7 т/год.;

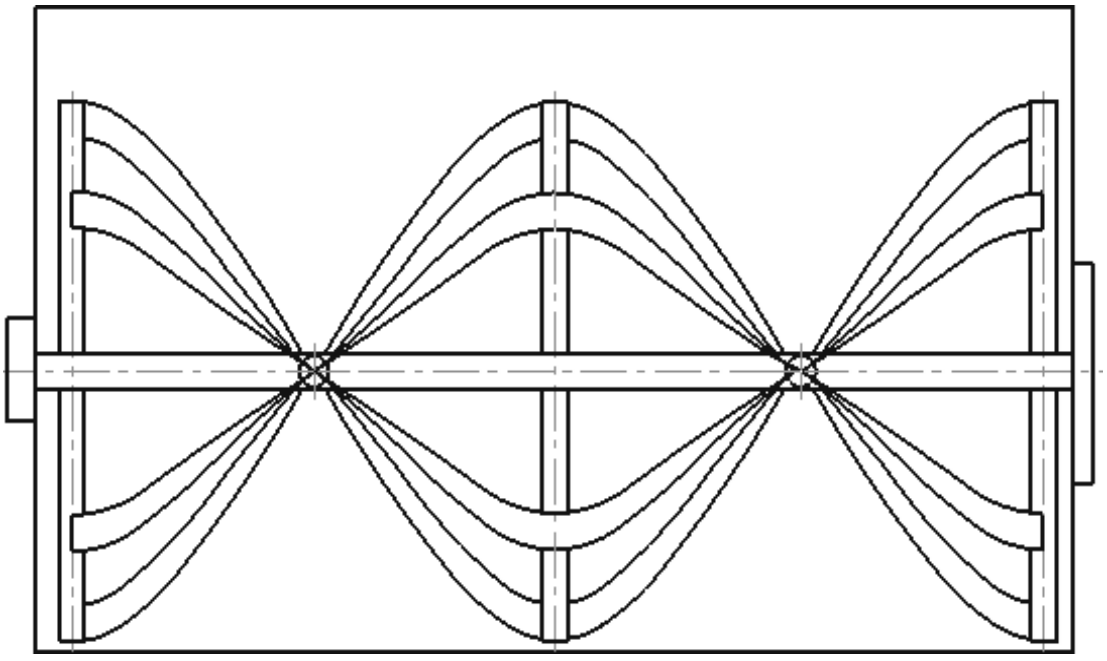
$n_ц$ – частота циклів перемішування за одиницю часу, год$^{-1}$;

ρ - густина (щільність) кормової суміші, т/м^3. За даними таблиці 3.1, усереднена густина компонентів становить 0,58 т/м^3;

k - поправочний коефіцієнт, що враховує об’єм, зайнятий елементами конструкції змішувача, діапазон значень якого становить 1,1–1,2.



а



б

Рис. 3.7. Загальний вигляд схеми:

а) конвенційний змішувальний пристрій; б) розроблений змішувальний пристрій

$$n_ц = \frac{60-(t_1+t_3)}{t_2}, \quad (3.2)$$

Де t_3 – тривалість операції вивантаження годинного обсягу корму, хв.

t_1 – тривалість операції завантаження годинного обсягу корму, хв;

t_2 – тривалість процесу змішування однієї порції, виміряна у хвилинах (відповідно до джерела [16], це значення становить від 2,5 до 3 хвилин).

Тривалість завантаження обсягу корму, що відповідає годинному нормативу, визначається на підставі експлуатаційних показників продуктивності дробильної установки:

$$t_1 = \frac{60Q_л}{Q_{дМКУ}} = \frac{60 \cdot 1,7}{2,0} = 40,8 \text{ хв.} \quad (3.3)$$

Де $Q_{дМКУ}$ – продуктивність подрібнювального агрегату МКУ-1,5, яка, згідно з даними [17], становить 4,0 т/год.

Тривалість процесу вивантаження щогодинного обсягу сировини буде визначена на основі показників пропускної здатності розвантажувального шнекового транспортера:

$$t_1 = \frac{60Q_л}{Q_{шМКУ}} = \frac{60 \cdot 1,7}{20} = 5,1 \text{ хв.} \quad (3.4)$$

Де $Q_{шМКУ}$ – характеризує пропускну здатність вивантажувального шнекового механізму, що є складовою частиною установки МКУ-1,5. Згідно з даними джерела [17], зазначений показник становить 20,0 т/год.

Враховуючи зазначене:

$$n_ц = \frac{60-(40,8+5,1)}{3,0} = 4,6.$$

То

$$V = 1,7 \cdot 1,15/0,80 \cdot 0,58 \cdot 4,6 = 0,92 \text{м}^3.$$

Отже, б'єм бункера становить 0,95 м³

З метою визначення геометричної конфігурації бункера розроблено його

схематичне зображення (рис. 3.8), з якого випливає, що сукупний об’єм резервуара є сумою об'єму напівциліндричної нижньої секції та об'єму верхньої частини, що має форму паралелепіпеда, тобто.

$$V_г = V_1 + V_2 = V_1 + (V_2^1 + V_2^1) = \frac{\pi D^2}{8} \cdot L + DL\frac{D}{2} + DLh, \qquad (3.6)$$

Довжина змішувача L обмежується конструкцією установки МКУ-1,5 на рівні 1,5 м, діаметр – 0,8 м, тому нам необхідно визначити висоту надставки h.

$$h = (Vг - (\pi \cdot D^2 \cdot L / 8 + D \cdot L \cdot D / 2)) / (D \cdot L), \qquad (3.7)$$

$$h = \frac{0{,}95 - \frac{0{,}8^2 \cdot 1{,}5}{2}(\frac{3{,}14}{4} + 1)}{0{,}8 \cdot 1{,}5} = 0{,}078 \text{ м}.$$

Приймемо, що h становить 0,1 м.

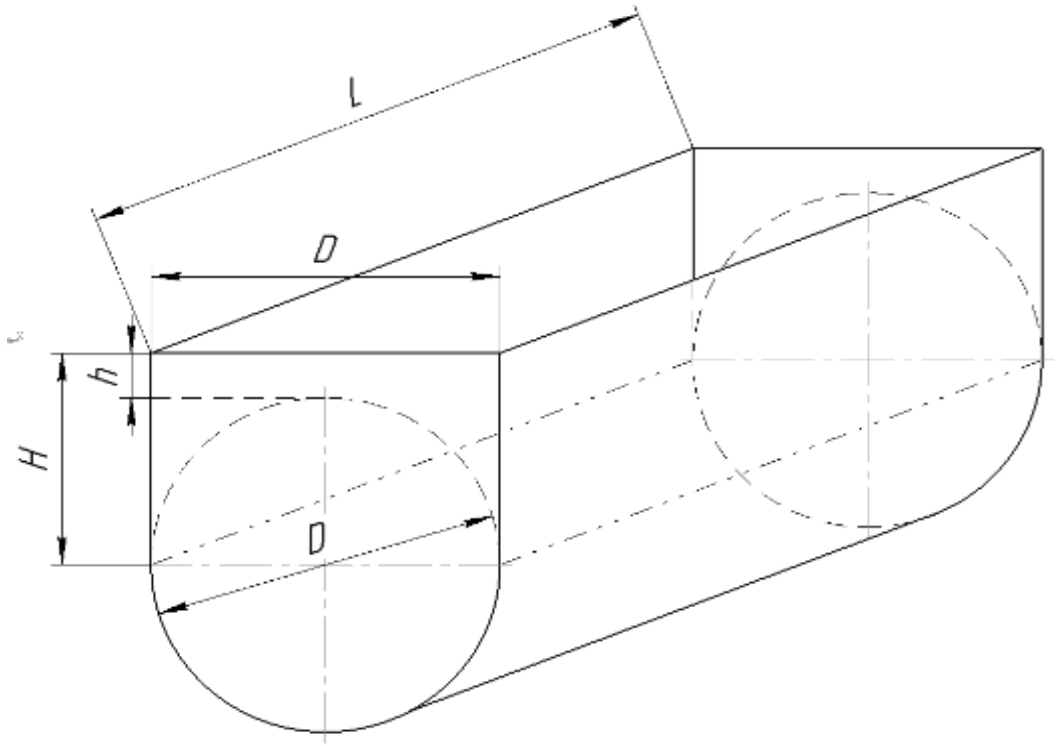


Рис. 3.8. Схематичне зображення до встановлення просторових параметрів змішувального апарату

Параметри гвинтової спіралі визначаються виходячи з геометричних характеристик бункера та ґрунтуючись на аналізі наявних аналогів [16]. Зовнішній радіус зовнішньої спіралі приймається рівним половині діаметра бункера, із забезпеченням технологічного зазору 0,005 м.

$$R_з = \frac{D}{2} - 0,005 = \frac{0,8}{2} - 0,005 = 0,395\text{м}. \quad (3.8)$$

Відповідно до джерела [16], ширина спіралі приймається значенням 0,06 м. З огляду на це, внутрішній радіус обчислюється наступним чином:

$$r_з = R_з - 0,06 = 0,395 - 0,06 = 0,335 \text{ м}. \quad (3.9)$$

Позиція внутрішнього витка спіралі визначається зі зміщенням, величина якого еквівалентна ширині зовнішньої спіралі.

$$R_в = r_в - 0,07 = 0,335 - 2 \cdot 0,07 = 0,265 \text{ м}. \quad (3.10)$$

За умови незмінної поперечної протяжності, величина радіуса внутрішнього контуру спіральної структури:

$$r_в = R_в - 0,06 = 0,265 - 0,06 = 0,205 \text{ м}. \quad (3.11)$$

3.3.3. Визначення енергетичних параметрів та вибір елементів привода

Розрахунок потужності, необхідної для привода робочого органу, проведемо за методикою, аналогічною до розрахунку лопатевих змішувачів, враховуючи специфіку двоспіральної конструкції:

$$N = \frac{(P_p \nu_p + P_o \nu_o) z}{1000}, \quad (3.12)$$

Де $\nu_р$ – тангенціальна швидкість, яка визначається в метрах за секунду;

$P_р$ колове зусилля опору на спіралі, Н;

z – відображає кількість лопатевих елементів (у даному контексті – спіралей), що є безрозмірною величиною;

$P_о$ – є аксіальним навантаженням або осьовою силою, яка вимірюється в Ньютонах;

$\nu_о$ – аксіальна швидкість, що також вимірюється в метрах за секунду.

$$v_p = r_{сер}\omega = r_{сер}\pi n/30, \quad (3.13)$$

$$v_o = v_p cos\alpha \, sin\, \alpha, \quad (3.14)$$

Де α – кут нахилу лопаті відносно осі ротації мішалки, виражений у градусах. У контексті даної роботи, цей кут інтерпретується як кут нахилу витка спіралі. Згідно з графічним представленням, наведеним на аркуші 4, для зовнішньої спіралі цей кут становить 58°, а для внутрішньої – 38°;

$r_{сер}$ – усереднений радіус або відстань від центральної осі обертання до точки прикладання результуючої сили опору, м.

n – величина, що позначає швидкість обертання вала перемішувального пристрою, виміряна в обертах за хвилину. Відповідно до [17], для цілей цього дослідження прийнято значення n = 48 $хв^{-1}$.

$$r_{сер} = 2R_з/3 = 2 \cdot 0{,}395/3 = 0{,}263 \text{ м}. \quad (3.15)$$

Згодом, значення швидкості обчислюється на основі цього ефективного радіуса та інших відповідних констант, що становить:

$$v_p = 0{,}263 \cdot 3{,}14 \cdot 48/30 = 1{,}3 \text{ м/с}.$$

Для знаходження зовнішньої спіралі, тангенціальна швидкість визначається шляхом застосування тригонометричних функцій до попередньо обчисленого значення:

$$v_o = 1{,}3 \cdot \cos 58° \cdot \sin 58° = 0{,}56 \text{ м/с}.$$

Аналогічно, для внутрішньої спіралі тангенціальна швидкість розраховується за тим же принципом, але з іншим кутовим параметром:

$$v_o = 1{,}3 \cdot \cos 38° \cdot \sin 38° = 0{,}63 \text{ м/с}.$$

Тангенціальні та осьові складові зусиль визначаються відповідно за наведеними формулами:

$$P_p = P_н(\cos\alpha + f \sin\alpha), \quad (3.16)$$

$$P_o = P_н(\cos\alpha - f \sin\alpha), \quad (3.17)$$

Де $P_н$ – нормальна компонента сили опору, Н;

f – коефіцієнт тертя, значення якого, згідно з таблицею 3.1, становить 0,46. Визначення нормальної компоненти сили опору здійснюється за такою формулою:

$$P_{н} = 9{,}81\rho h_{сер} F_{c} tg^{2}[45^{\circ} + (\varphi / 2)], \qquad (3.18)$$

Де F_c – проекція площі спірального елемента, заглибленого в робоче середовище, на вісь його обертання, м^2;

φ=arctg(*f*)- кут внутрішнього тертя матеріалу, що вимірюється в градусах, прийнятий рівним 77°;

$h_{сер}=R_з/2$ – середня глибина занурення, що дорівнює половині максимальної глибини заглиблення спіралі, м.

Проекція площі спіралі, що контактує з сумішшю, на напрямок обертання визначається наступним чином:

$$F_c = F\cos\alpha = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}\cos\alpha, \qquad (3.19)$$

Де F – повна площа спіралі, м^2.

Використовуючи формулу (3.19), для зовнішньої спіралі отримуємо:

$$F^{з}_{c} = \frac{\pi(0,79^2 - 0,67^2)}{4}\cos 58° = 0,073 \text{ м}^2,$$

внутрішньої:

$$F^{в}_{c} = \frac{\pi(0,53^2 - 0,41^2)}{4}\cos 38° = 0,069 \text{ м}^2$$

Нормальна складова сил опору, згідно з формулою (3.18).

Для зовнішньої спіралі:

$$P^{з}_{н} = 9,81\cdot 580\cdot\frac{0,395}{2}0,073tg^{2}[45^{\circ} + (77^{\circ}/2)] = 218 \text{ Н},$$

Для внутрішньої спіралі:

$$P^{з}_{н} = 9,81\cdot 580\cdot\frac{0,265}{2}0,069tg^{2}[45^{\circ} + (77^{\circ}/2)] = 138 \text{ Н}.$$

Тангенціальні та осьові складові зусиль для зовнішньої спіралі розраховуються згідно формул:

$$P_p = 218(\cos 58 + 0,46\cdot\sin 58) = 238 \text{ Н};$$

$$P_o = 218(\cos 58 - 0,46\cdot\sin 58) = 174 \text{ Н}.$$

Розрахунки для визначення внутрішньої:

$$P_p = 138(\cos 38 + 0,46 \cdot \sin 38) = 175 \text{ Н};$$

$$P_o = 138(\cos 38 - 0,46 \cdot \sin 38) = 121 \text{Н}.$$

Потужність, що витрачається на процес змішування, згідно з формулою (3.12), становить:

Для зовнішнього спірального елемента:

$$N^з = \frac{(238 \cdot 1,3 + 174 \cdot 0,56) \cdot 2}{1000} = 0,820 \text{ кВт},$$

Для внутрішнього спірального елемента:

$$N^в = \frac{(148 \cdot 1,3 + 121 \cdot 0,63) \cdot 2}{1000} = 0,540 \text{ кВт}.$$

Відтак, сумарна потужність, необхідна для здійснення процесу змішування:

$$N_{зм} = N^з + N^в = 0,820 + 0,540 = 1,360 \text{ кВт}. \quad (3.20)$$

Розрахунок необхідної потужності електричного двигуна:

$$N_{ЕД} = \frac{N_{зм}}{\eta} = \frac{1,360}{0,75} = 1,82 \text{ кВт} \quad (3.21)$$

З урахуванням обраного електродвигуна моделі АИРС100L4, який характеризується номінальною потужністю 2,2 кВт та частотою обертання ротора 1460 об/хв (виробництвом заводу «Електро-мотор», м. Полтава), необхідно визначити передаточне число редуктора.

Передаточне число редуктора було обчислене наступним чином:

$$i_p = \frac{n_д}{n_м} = \frac{1460}{48} = 30,4 \quad (3.22)$$

На підставі отриманого розрахункового передаточного числа, а також з урахуванням граничних значень вхідної швидкості та крутного моменту, було здійснено вибір редуктора. Обрано модель Ч-80 з номінальним передаточним числом 31,0.

3.3.4. Обчислення параметрів міцності конструкції

Серед усіх компонентів змішувача, найбільшому навантаженню піддаватиметься саме привідний вал (або ведуча цапфа). З огляду на його критичну роль у передачі крутного моменту та сприйнятті зусиль, принципово важливим є точне визначення його діаметра, особливо в місці його з'єднання або спряження з редуктором.

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2[\tau]}}, \tag{3.24}$$

Де [τ] – гранично допустима інтенсивність внутрішніх сил, що виникають в матеріалі елемента при його деформації скручування, МПа;

$M_{кр}$ - векторна фізична величина, що характеризує обертальний вплив на об'єкт, а саме – крутний (торсійний) момент, який прикладається до опорного елемента (цапфи) механізму, що перемішує (мішалки), Н·мм.

Розрахунок крутного моменту, що виникає на опорній цапфі апарату для змішування кормових компонентів, здійснюється за допомогою наступної математичної залежності:

$$M_{кр} = N_{ЕД}/\omega, \tag{3.25}$$

Де N – параметр, що відображає споживану енергетичну потужність приводного механізму змішувального апарату, Вт;

ω – позначає кутову швидкість обертання робочого органу перемішування мішалки, що виражається в одиницях зворотної секунди ($с^{-1}$), які часто інтерпретуються як радіани на секунду.

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 48}{30} = 5,02\ с^{-1}.$$

Отже

$$M_{кр}=2200/5,02=438,2\ Н{\cdot}м \tag{3.26}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{438,2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 342}} = 18,5\ мм.$$

З метою забезпечення необхідного рівня надійності та достатнього запасу міцності всієї конструкції, а також гарантування її тривалої та безпечної експлуатації, поперечний діаметр привідної цапфи – ключового елемента у вузлі сполучення з редукторним механізмом – встановлюється на рівні 32 міліметри. Це рішення прийнято з урахуванням потенційних експлуатаційних навантажень та нормативних вимог до міцності.

3.4. Висновки за розділом

У межах даного розділу було проведено ґрунтовну модернізацію конструкції кормозмішувача. Ключовим елементом цього вдосконалення стало впровадження інноваційної стрічково-гвинтової мішалки, що характеризується змінним напрямком навивки робочих органів. Таке рішення дозволяє істотно підвищити ефективність та якість змішування різноманітних компонентів комбікормів.

За результатами детальних інженерних розрахунків, для досягнення цільового показника продуктивності в 1,7 тонни за годину, встановлено, що оптимальний об'єм завантажувального бункера повинен становити 0,95 кубічних метра. При цьому, для забезпечення стабільної та надійної роботи всього агрегату, необхідна потужність електродвигуна приводу змішувального механізму визначена на рівні 2,2 кіловата.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Основні вимоги безпеки праці при приготуванні кормів

Технологічний процес приготування комбікормів на сучасних свинарських підприємствах супроводжується впливом комплексу складних виробничих факторів. До основних шкідливих чинників належать висока концентрація органічного пилу, наявність рухомих механізмів, підвищений рівень шуму від роботи дробарок та ризик ураження електричним струмом. У зв'язку з цим, побудова системи охорони праці є невід'ємною складовою безпечного функціонування кормоприготувальної бази, що дозволяє мінімізувати ймовірність травматизму та професійних захворювань.

Організаційна структура безпеки базується на безперервному навчанні персоналу. Кожен працівник допускається до виконання обов'язків лише після проходження багаторівневих інструктажів: від вступного до спеціалізованого цільового. Це забезпечує не лише знання правил експлуатації обладнання, а й готовність до чітких дій у разі виникнення позаштатних ситуацій. Контроль за дотриманням цих норм здійснюється через суворе ведення журналів інструктажів та актів перевірки знань, що створює документальну основу відповідальності на виробництві.

Технічна надійність обладнання гарантується використанням сертифікованих агрегатів, що проходять регулярне технічне обслуговування. Особлива увага приділяється колективному захисту: всі вузли, що обертаються (вали шнеків, пасові передачі), повинні бути закриті захисними кожухами. Наявність легкодоступних систем аварійної зупинки та блокувальних механізмів дозволяє миттєво припинити роботу обладнання у критичний момент, захищаючи життя та здоров'я оператора.

Санітарно-гігієнічне середовище робочих місць має вирішальне значення для збереження працездатності. Оптимальний рівень освітлення

знижує зорову втому та запобігає помилковим діям оператора, тоді як ефективна примусова вентиляція забезпечує видалення дрібнодисперсного пилу, який є не лише алергеном, а й потенційним джерелом вибухонебезпеки. Систематичне прибирання приміщень доповнює ці заходи, усуваючи ризики ковзання та накопичення шкідливих відкладень.

Комплексна пожежна та електробезпека реалізується через технічні та обмежувальні заходи. Всі електроустановки підлягають обов'язковому заземленню та обслуговуються виключно фахівцями. У пожежонебезпечних зонах цеху встановлюється суворий режим, що виключає використання відкритого вогню та забезпечує постійну готовність первинних засобів пожежогасіння.

Індивідуальний захист та медичний контроль виступають останнім бар'єром безпеки. Забезпечення працівників якісним спецодягом, окулярами та респіраторами є обов'язковим, особливо під час завантаження сировини. Паралельно з цим, регулярні медичні огляди дозволяють відстежувати стан здоров'я персоналу, попереджаючи розвиток професійних патологій на ранніх стадіях.

Завершальною ланкою системи безпеки є аварійна готовність. Наявність чітко розробленого плану евакуації та навички надання першої долікарської допомоги формують високу культуру безпеки на підприємстві.

Такий комплексний підхід створює умови для стабільної, ефективної та, головне, безпечної роботи персоналу в кормоцеху.

4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації вдосконаленого змішувача кормових сумішей у галузі свинарства

Безпечна експлуатація модернізованого змішувача потребує від оператора суворого дотримання регламентованих норм та послідовності дій. Дана інструкція розроблена для забезпечення максимального захисту персоналу та стабільної роботи обладнання.

1. Загальні положення. Охорона праці оператора змішувача базується на дотриманні правил внутрішнього розпорядку та нормативних актів з пожежної і електробезпеки. До самостійної роботи допускаються особи, які досягли 18-річного віку, мають відповідну кваліфікацію та пройшли комплексне навчання, включаючи медичний огляд і всі види інструктажів (первинний, повторний, позаплановий та цільовий). Обов’язковою умовою є використання повного комплекту засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), що включає спеціальний одяг, захисне взуття, рукавиці, окуляри та респіратор для захисту органів дихання від органічного пилу.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи. Перед початком зміни оператор зобов'язаний перевірити справність ЗІЗ та провести ретельний зовнішній огляд установки. Особлива увага приділяється цілісності електропроводки, надійності захисного заземлення та відсутності механічних пошкоджень корпусу. Необхідно переконатися у працездатності аварійних кнопок та блокувальних пристроїв. Робоче місце має бути звільнене від сторонніх предметів, а огляд обладнання проводиться виключно при відключеній напрузі. У разі виявлення будь-яких несправностей, оператор повинен негайно повідомити керівника, не приступаючи до виконання робіт до їх повного усунення.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи. У процесі експлуатації оператор має постійно використовувати відповідні ЗІЗ та дотримуватися встановлених технологічних режимів. Вмикання змішувача дозволяється лише після повної впевненості у його готовності. Категорично забороняється працювати з демонтованими або пошкодженими захисними огородженнями. Будь-які маніпуляції з чищення, змащування чи ремонту вузлів під час руху робочих органів суворо заборонені. Оператор не повинен самостійно втручатися в роботу електрообладнання — для цього викликається кваліфікований електрик. Під час зміни необхідно підтримувати чистоту, уникати накопичення пилу та приділяти увагу будь-яким нехарактерним звукам чи вібраціям, за наявності яких агрегат слід негайно зупинити.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи. По завершенню циклу приготування корму змішувач необхідно вимкнути та повністю відключити від електромережі. Оператор проводить очищення внутрішньої порожнини та робочої зони від залишків суміші та пилу. Після цього проводиться заключний огляд обладнання на предмет виявлення дефектів, що могли виникнути під час роботи. Використані ЗІЗ підлягають очищенню та розміщенню у відведеному місці. Завершується зміна дотриманням правил особистої гігієни та звітом керівнику про стан техніки.

Дотримання положень цієї інструкції є обов’язковим і гарантує створення безпечного виробничого середовища на свинарській фермі.

4.3. Висновки за розділом

У межах даного розділу було проведено всебічний аналіз умов праці та розроблено систему заходів із забезпечення безпеки виробництва для оновленого технологічного процесу приготування комбікормів. Оскільки впровадження вдосконаленого змішувача передбачає зміну динамічних характеристик роботи лінії, особливу увагу було приділено створенню безпечного середовища при експлуатації саме цього обладнання.

Крім того, у розділі визначено необхідні параметри електробезпеки, включаючи вимоги до захисного заземлення та рівня ізоляції обладнання. Враховуючи вибухопожежонебезпечні властивості зернового пилу, було сформовано перелік протипожежних заходів, спрямованих на герметизацію вузлів змішувача та забезпечення цеху засобами пожежогасіння.

Запропонований комплекс рішень повністю відповідає чинним нормативним актам і гарантує мінімізацію виробничих ризиків та створення безпечних умов праці для працівників свинарського підприємства.

РОЗДІЛ 5
ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі нашої роботи ми здійснимо всебічну оцінку прогнозованої економічної ефективності впровадження та подальшої експлуатації розробленого нами інноваційного змішувального агрегату для сипучих кормових сумішей, що є інтегрованою складовою технологічної установки МКУ-1,5. З огляду на те, що конструктивні зміни були внесені виключно до змішувача, тоді як усі інші компоненти системи зберегли свої базові, стандартизовані характеристики, порівняльний аналіз буде сфокусований та проведений винятково на підставі параметрів та особливостей функціонування саме змішувального пристрою.

Для забезпечення об'єктивного зіставлення економічних показників модернізованого та традиційного (стандартного) змішувальних апаратів, ми будемо використовувати ключовий індикатор – питомі експлуатаційні витрати (П). Цей показник, що виражається у грошовому еквіваленті на тонну обробленої продукції (грн./т), є універсальним інструментом. Він дозволяє ефективно порівнювати продуктивність та економічну доцільність різних змішувачів, незалежно від варіативності конкретних обсягів виробництва чи періодичності змішування.

Ми здійснимо детальний порівняльний аналіз між існуючим (базовим) та вдосконаленим варіантами реалізації технологічного процесу, спираючись на розрахунки питомих експлуатаційних витрат. До складу цих витрат будуть включені такі суттєві статті, як витрати на оплату праці виробничого персоналу, вартість спожитих енергоресурсів, амортизаційні відрахування за використання основного обладнання, а також витрати, пов'язані з проведенням ремонтних робіт та планового технічного обслуговування. Всі необхідні розрахунки будуть виконані згідно з визнаними методологіями та практичними рекомендаціями, представленими в авторитетних літературних джерелах [3, 4].

Сукупність усіх отриманих показників економічної ефективності буде систематизована та наочно представлена у відповідній таблиці (табл. 5.1), а також візуалізована на окремому аркуші графічної частини нашої роботи (аркуш 5).

Таблиця 5.1

Індикатори економічної доцільності модернізованого змішувального агрегату

Індикатори	Базовий варіант	Модернізований варіант
Експлуатаційні витрати		
Питомі експлуатаційні витрати, грн/т	20,65	17,77
у тому числі:		
– витрати на оплату праці, грн/т	13,92	12,28
– витрати на електроенергію, грн/т	2,34	1,54
– амортизаційні відрахування, грн/т	1,71	1,64
– витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн/т	2,68	2,31
Техніко-виробничі індикатори		
Продуктивність, т/год	1,5	1,7
Потужність приводу, кВт	3,5	2,2
Маса обладнання, кг	420	385
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Балансова вартість, грн	75860	82700
Індикатори ефективності		
Економія питомих витрат, грн/т	–	2,88
Річний обсяг роботи, т	3942	3942
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	–	11352,96
Період повернення початкових капіталовкладень, років	–	0,6
Нормовані витрати у перерахунку на одиницю маси, т	23,53	20,91
Сукупний економічний результат за річний період, грн	–	10328,04

Аналіз даних таблиці свідчить, що попри незначне зростання балансової вартості змішувача за рахунок складнішої конструкції спіралей, загальна ефективність проєкту є високою. Завдяки підвищенню продуктивності до 1,7 т/год та зниженню встановленої потужності двигуна, питомі витрати зменшилися на 2,88 грн на кожній тонні корму. Термін окупності модернізації становить менше одного року (0,6 року), що підтверджує економічну доцільність впровадження розробки.

Проведені розрахунки техніко-економічних показників свідчать про те, що вдосконалений змішувач забезпечує суттєве зниження питомих експлуатаційних витрат порівняно з базовою моделлю. Основна економія досягається за рахунок підвищення продуктивності агрегату до 1,7 т/год та значного зменшення встановленої потужності привода з 3,5 кВт до 2,2 кВт, що безпосередньо впливає на скорочення витрат на електроенергію та оплату праці в розрахунку на одиницю продукції.

Незважаючи на певне зростання балансової вартості конструкції через використання складніших гвинтових спіралей, термін окупності додаткових капіталовкладень становить лише 0,6 року. Це підтверджує високу економічну ефективність модернізації змішувача у складі установки МКУ-1,5. Отримані результати демонструють потенціал до зниження собівартості приготування комбікормів, що є стратегічно важливим для підвищення загальної прибутковості та конкурентоспроможності свинарського підприємства в умовах ринкової економіки.

ВИСНОВКИ

Результати виконаного дипломного проєкту дозволяють зробити комплексний підсумок щодо вдосконалення технології та технічного забезпечення приготування кормів на свинарському підприємстві. У процесі роботи було обґрунтовано та розроблено раціональну схему приготування повнораціонних комбікормів, яка базується на використанні силосів для зберігання зернової сировини, систем очищення та подрібнення компонентів у дробарці установки МКУ-1,5. Особливістю запропонованої технології є впровадження тензометричної системи вагового дозування, що в поєднанні з послідовним завантаженням зернових складових та БМВД забезпечує високу точність рецептури відповідно до потреб різних статево-вікових груп свиней.

Ключовим технічним рішенням проєкту стало вдосконалення змішувача комбікормів шляхом застосування комбінованої стрічково-гвинтової мішалки зі змінним напрямом навивки спіралей. Проведені конструкторські розрахунки підтвердили, що для досягнення заданої продуктивності на рівні 1,7 тонни на годину оптимальний об’єм робочого бункера становить 0,95 метра кубічного. При цьому встановлена потужність привода складає 2,2 кіловата, що свідчить про значне підвищення енергоефективності агрегату порівняно з базовими аналогами та поліпшення якості змішування компонентів.

Для впровадження вдосконаленої лінії приготування кормів розроблено комплекс організаційних та технічних заходів з охорони праці. Сформовано вимоги до безпечної експлуатації модернізованого обладнання, що включають правила підготовки до роботи, регламенти поточного обслуговування та заходи пожежної безпеки, спрямовані на мінімізацію виробничих ризиків у запиленому середовищі кормоцеху.

Завершальна техніко-економічна оцінка вдосконаленого змішувача продемонструвала його беззаперечну перевагу за показниками питомих експлуатаційних витрат. Завдяки зниженню енергоємності та інтенсифікації процесу змішування, термін окупності додаткових капітальних вкладень при

повному завантаженні обладнання становить лише 0,6 року. Отримані результати підтверджують економічну доцільність впровадження розробленого змішувача у виробництво, що сприятиме зниженню собівартості продукції свинарства та підвищенню загальної прибутковості господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВНТП-АПК-02.05. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми) / Міністерство аграрної політики України (Мінагрополітики України) // К.: 2005. – 78 с.

2. Машини для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.

3. Ревенко, І. Порівняння агрегатів для приготування комбікормів / І. Ре-венко // Пропозиція. - 2012. - № 3. - С. 148-151.

4. Бабенко, О. Як здешевити годівлю свиней / О. Бабенко // Ефективні корми та годівля. – 2011. – № 1. – С. 29–32.

5. 10. Піскун В.І., Грицаєнко В.І., Мироненко А.П., Михайлик С.І. Особли-вості вибору конструкції змішувача інгредієнтів комбікормів. 2004, 4с.

6. 11. Мироненко А.П. Технологічний процес змішування інгредієнтів комбікормів// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск № 59. Том №1.- Х.:2007 – с.344 – 349.

7. 12. Автаназів І.С., Баранецька О.Р. Методика вибору оптимальних тех-нологій і обладнання при змішуванні сипких матеріалів: Зб. наукових праць Львівського інституту. «Львівська політехніка». Львів: в-во. НУ «Львівська політехніка», 1999 – с14. – 21.

8. 14. Матвєєв К.Д. Стрічково-лопатевий змішувач кормів. Деклараційний патент на винахід № 3928 А Україна, МПК A23N 17/00. – № u2001128615; заявл. 14.12.2001; опублік. 15.10.2002, бюл. № 10.

9. Мельник В.О. Способи вирощування свиней: вплив на продуктивні по-казники і фізіологічний стан / В. О. Мельник // свинарство: Міжвід. темат. наук. зб. / Інститут птахівництва УААН. –Харків, 2005. – Вип. 57. – С. 337-347.

10. Технологія виробництва продукції свинарства: підручник для студентів вищ. навч. закл. / [В. П. Бородай, М. І. Сахацький, А. І. Вертійчук та ін.]. – Він-ниця: Нова Книга, 2006. – 360 с.

11. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва/ І.Г.Бойко, В.І.Гридасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. О.П.Скорика, О.І.Фісяченка. – Харків, 2004. – 272 с.
12. Каталог-довідник машин і обладнання «Агротехніка – 2020»
К.: Агростар – ТАС, 2020. -209 с.
13. Нова сільськогосподарська техніка/ В.А.Ясенецький, В.С.Куліш, М.П. Мечта та ін.; За ред. В.А. Ясенецького. – К.: Урожай, 1991. – 320 с.
14. Дмитрів Д. В. Стенд для дослідження процесу змішування комбікормів / Д. В. Дмитрів // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. / Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 1999. – Вип. 5. – С. 102 – 105.
15. Kudrolli A. Size separation in vibrated granular matter / A. Kudrolli //Reports on progress in physics. – 2004. – Vol. 67(3). – C. 209 – 247.
16. Kafui K. D. Discrete particle-continuum fluid modeling of gas-solid fluidised beds / K. D. Kafui, C. Thornton, M. J. Adams // Chemical Engineering Science. – 2002. – Vol. 57. – C. 2395 – 2410.
17. Stephenson P. L. The effect of humidity on the production of ordered mixtures / P. L. Stephenson, W. J. Thie // Powder Technology. – 1980. – Vol. 25. – C. 115 – 119.
18. НПАОП 01.2-1.12-05. Правила охорони праці у тваринництві. свинар-ські підприємства.