

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Розробка змішувача кормів з обґрунтуванням параметрів лопатевої
мішалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Галан Сергій Сергійович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Руслан КІСІЛЬОВ

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Катерина ВАСИЛЬКОВСЬКА

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

стор.

1. Вступ.....	
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень.....	
3. Наукова частина.....	
4. Практична реалізація результатів досліджень.....	
5. Охорона праці.....	
6. Загальні висновки.....	
Список використаної літератури.....	
Додатки.....	

ВСТУП

Останнє скорочення обсягів виробництва продукції тваринництва зумовлене, серед інших причин, недостатнім рівнем розвитку кормової бази. Обмежена забезпеченість кормами, їх низька якість, а також недотримання технологічних вимог щодо підготовки до згодовування призводять до того, що генетичний потенціал тварин використовується лише на 40–60%. При цьому корми відіграють ключову роль у формуванні економічних показників галузі, адже їх частка в структурі собівартості тваринницької продукції сягає до 70% загальних витрат [1, 2].

Досвід упровадження інтенсивних повносистемних технологій у виробництві продукції скотарства свідчить, що поряд із надійним і збалансованим забезпеченням тварин якісними кормами відбувається вдосконалення традиційних систем годівлі. Ці системи орієнтовані на розроблення економічно ефективних механізованих технологій переробки кормів і приготування повнораціонних кормосумішей, які відповідають сучасним технологічним вимогам та фізіологічним особливостям годівлі тварин. У результаті істотно підвищується їх продуктивність, зростає частка використання соломи в раціонах великої рогатої худоби, а реалізація потенційних можливостей цих чинників у продуктивності тварин може досягати близько 65%. Крім того, добре підготовлені корми та кормосуміші сприяють зростанню продуктивності тварин, поліпшенню їх фізіологічного стану й вгодованості, зниженню витрат кормів та підвищенню якості продукції.

Однією з найбільш відповідальних операцій у процесі приготування кормів і збалансованих кормосумішей є якісне змішування різних видів кормів та окремих компонентів.

Дослідження й аналіз експлуатації механізованих кормоцехів у фермерських господарствах різних типорозмірів показують, що дозування та змішування грубих, соковитих і стеблових кормів часто не відповідає зоотехнічним вимогам. При цьому технічне обладнання характеризується складною конструкцією, підвищеною металомісткістю та енергомісткістю, а технологічні процеси залишаються недостатньо автоматизованими. Усе це

призводить до значних витрат, зниження економічної ефективності та погіршення якості приготування кормів і кормосумішей.

У зв'язку з цим розроблення нових, а також модернізація й удосконалення існуючих технологій і сучасних конструкцій змішувачів кормів для приготування збалансованих високоефективних кормових сумішей для згодовування великій рогатій худобі є актуальним науково-технічним завданням при виконанні даної магістерської роботи.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Огляд сучасних технологій та різних технічних засобів для змішування кормів і приготування повнораціонних кормових сумішей.

За останні роки в європейських країнах та в Україні запроваджено підвищені вимоги до якості виробництва молока, яловичини й продуктів їх переробки. Це зумовлює необхідність суттєвого прискорення впровадження інтенсивних технологій підготовки кормів до згодовування та виготовлення збалансованих і повноцінних кормових сумішей із застосуванням збагачувальних компонентів, необхідних вітамінів, ферментів, біостимуляторів, транквілізаторів і лікувально-профілактичних препаратів. Водночас актуальним є використання сучасної техніки нового покоління, а також комплексної механізації й автоматизації процесів приготування кормів.

Процеси обробки та підготовки кормів до згодовування, а також приготування багатоконпонентних кормових сумішей здійснюються в механізованих кормоцехах із поточковими технологічними лініями, оснащеними спеціалізованими технічними засобами та машинами.

Технологія приготування кормів і кормових сумішей у кормоцехах являє собою сукупність способів і прийомів перетворення вихідних компонентів раціону на збалансовані повнораціонні кормові суміші різних рецептів. Вибір рецептур залежить від структури кормової бази, типу годівлі, запланованого рівня продуктивності, виду тварин і відповідних технологічних груп [3, 4, 8].

Технологія приготування вологих кормосумішей на фермах і комплексах ВРХ із повним технологічним циклом виробництва передбачає виконання таких основних операцій:

- навантаження та транспортування до кормоцеху грубих, соковитих, стеблових і концентрованих кормів, коренеплодів, жому, меласи та різних збагачувальних кормових добавок;
- накопичення подрібнених грубих і соковитих кормів у бункерах-дозаторах, їх дозовану подачу безперервним регульованим потоком на збірний

транспортер суміші або разовими регульованими порціями в роздавач-змішувач;

- приготування поживних розчинів та подачу їх у змішувач безперервним регульованим потоком;

- пошарову подачу завантажених компонентів, їх магнітне очищення, завантаження в змішувач, змішування (за потреби - додаткове подрібнення) та вивантаження готової кормосуміші в кормороздавачі.

У практиці тваринницьких господарств України на основі серійного обладнання розроблено понад 20 типових проєктів кормоцехів, а також близько 40 індивідуальних і експериментальних рішень, адаптованих до місцевих умов. У сільському господарстві США, Німеччини, Данії, Угорщини, Італії, Франції, України та інших європейських країн основну увагу зосереджено на приготуванні багатокомпонентних кормових сумішей безпосередньо на фермах із застосуванням трьох основних систем: автоматизованих стаціонарних кормоцехів; мобільних фермерських кормових комбайнів і агрегатів з подрібнювачами-змішувачами; а також стаціонарних кормоцехів у поєднанні з мобільними роздавачами-змішувачами та програмним забезпеченням.

Процес змішування кормів є обов'язковою та ключовою ланкою у виробництві збалансованих кормових сумішей. Його основне завдання полягає в забезпеченні нормативних показників однорідності, структури, фізико-механічних властивостей і точного дозування кожного компонента відповідно до рецептури. Порушення співвідношень складників у суміші спричиняє зміну поживної цінності готового корму, що в підсумку призводить до перевитрат кормів і зниження продуктивності тварин.

У зв'язку з цим в Україні та за кордоном експлуатується значна кількість різних типів змішувачів (табл. 2.1), класифікація яких ґрунтується на основних істотних ознаках і передбачає характерні конструктивно-технологічні схеми їх виконання (рис. 2.1).

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ



Рис. 2.1. Розроблена класифікація змішувачів кормів

Залежно від фізичного стану перемішуваного середовища змішувачі застосовують для приготування рідких, сипких, малосипких стеблових, напіврідких і вологих кормових сумішей, що відрізняються багатокомпонентністю та різноманіттям фізичних, фізико-механічних, реологічних, гранулометричних і інших властивостей.

За способом дії та характером технологічного процесу змішування кормів змішувачі поділяють на машини періодичної (порційної) та безперервної потокової дії. У змішувачах періодичної дії кормові компоненти обробляються окремими порціями; при цьому можуть здійснюватися операції запарювання, термічної та хімічної обробки, а також дріжджування. Технологічний процес відбувається циклічно і включає послідовні стадії завантаження, змішування та вивантаження готової суміші, що зумовлює відносно невисоку продуктивність таких машин. Водночас вони є найбільш поширеними у виробничій практиці, малочутливими до коливань живильних потоків і дають змогу забезпечувати необхідну якість кормосуміші шляхом регулювання тривалості змішування компонентів, різних за фізико-механічними властивостями та гранулометричним складом.

Крім того, у змішувачах застосовують як об'ємне пошарове дозування компонентів, так і масове (вагове), яке забезпечує найвищу точність подачі. Під час вологотермічної обробки кормів кормовий моноліт розміщується безпосередньо в камері бункера, що сприяє зменшенню теплових втрат. Водночас порційні змішувачі поступаються агрегатам безперервної дії за питомими показниками енерго- та металомісткості.

У змішувачах безперервної дії процеси завантаження кормових компонентів, їх змішування та вивантаження готової суміші поєднані в єдиний безперервний технологічний цикл, що забезпечує вищу продуктивність і компактність обладнання. Разом із тим можливість отримання однорідної кормової суміші обмежується значною нерівномірністю подачі окремих компонентів у змішувач. Унаслідок цього такі агрегати не завжди гарантують досягнення нормативної рівномірності змішування, особливо за недостатньої згладжувальної здатності системи.

За способом встановлення змішувачі поділяються на стаціонарні, пересувні та універсальні. Основними перевагами стаціонарних змішувачів є невисокі витрати праці та низькі експлуатаційні затрати. Водночас застосування мобільних засобів може супроводжуватися небажаними явищами в процесі змішування, зокрема сегрегацією та розшаруванням кормової суміші під час транспортування.

За характером силового впливу на кормовий моноліт відцентрові та вібраційні змішувачі не набули широкого поширення у виробничій практиці. Водночас відомі пневматичні змішувачі, у яких напір повітря використовується як фактор інтенсифікації процесу змішування, продемонстрували задовільну працездатність під час приготування сухих комбікормів і розсипних сумішей за умови однорідності компонентів за гранулометричним складом і щільністю.

Вібраційні змішувачі застосовуються переважно для приготування сухих сипких кормових сумішей. Найбільш поширені типи змішувачів - гравітаційні, шнекові, стрічкові, лопатеві, штифтові, молоткові, ножові, стрічково-шнекові та інші - вітчизняного й зарубіжного виробництва наведені в таблиці 2.1 із зазначенням їх основних переваг, недоліків та відповідних аналогів.

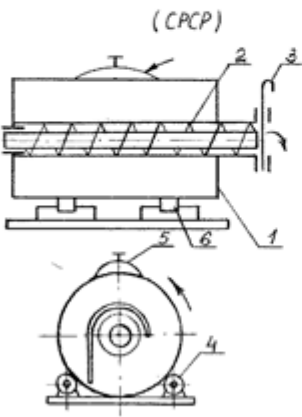
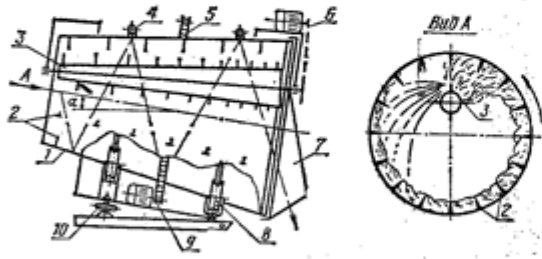
Гравітаційні змішувачі представлені, зокрема, змішувачем-запарником ЗСК-1,0, змішувачем СКМ-40, біноміальним змішувачем зі штифтами і лопатевим бітером конструкції В. А. Кохна (СІМСГ), гравітаційним змішувачем фірми «Міаг», а також іншими подібними агрегатами.

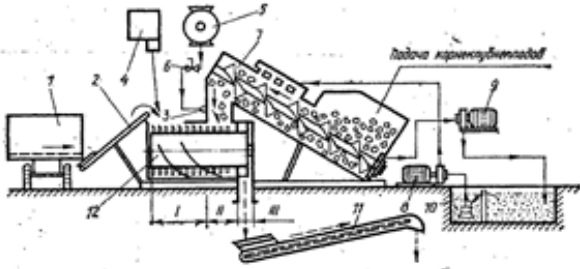
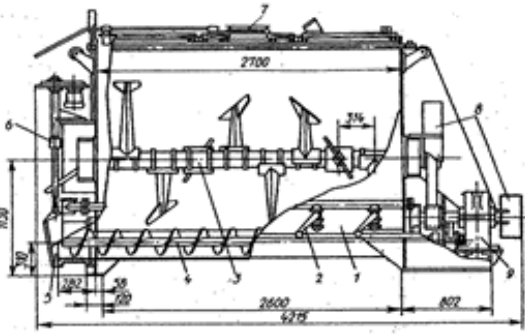
Основними перевагами зазначених машин є відносна простота конструкції та невисока енергомісткість процесу змішування. Разом із тим ці змішувачі мають низку істотних недоліків, що обмежують сферу їх ефективного застосування, а саме: спостерігається інтенсивна сегрегація компонентів унаслідок багаторазового перекидання змішуваного матеріалу з різною насипною щільністю складових, а також ускладнено відбувається процес змішування зволжених зернових матеріалів через утворення грудок і налипання кормової маси на внутрішні поверхні змішувача.

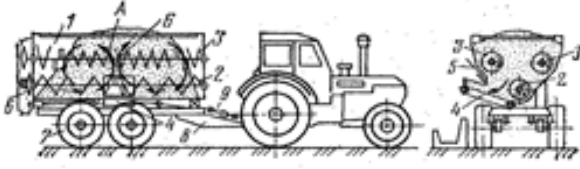
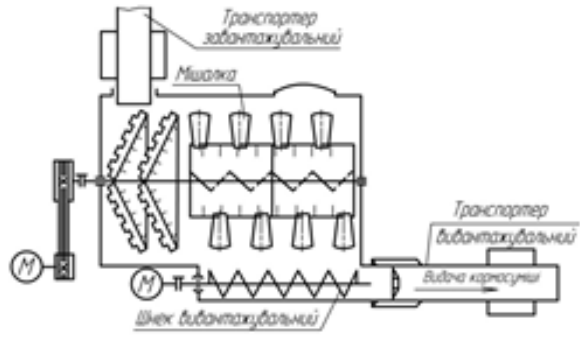
Далі наведемо основні конструкції змішувачів з їхніми перевагами та недоліками.

Найбільш відомі та розповсюджені конструкції змішувачів кормів для ВРХ

Таблиця 2.1

Функціональна схема змішувача кормів	Основні переваги та недоліки	Аналогічні схеми
1	2	3
Барабанний гравітаційний періодичної дії змішувач ЗСК-1 (СРСР)  1 – горизонтальний барабан; 2- вивантажувальний шнек; 3 – засувка; 4 – ролик; 5 – завантажувальна горловина; 6 – рама.	Переваги: - забезпечується запарювання і змішування вологих сипучих кормів для ВРХ і свиней; - відносно проста конструкція; - низька енергомісткість процесу. Недоліки: - довгий час перемішування; - висока нерівномірність змішування суміші; - відбувається процес сегрегації кормів; - утворюються комки, відбувається налипання корму до стінок; - при збільшенні частоти обертання процес змішування практично припиняється; - низька корисна місткість барабану (до50%); -підвищена металомісткість.	СКМ-40 (СРСР), біноміальний гравітаційний змішувач з штифтами і лопатевим бітером конструкції В.А. Кохно СІМСГ (СРСР)
Змішувач барабанний бітерний гравітаційний безперервної дії СН-100 конструкції І.І. Фурси, Україна. Обладнаний штифтами і бітером з радіальними пальцями  1 – конусний барабан; 2 – радіальні пальці; 3 – бітер; 4 – обід; 5 – колесо; 6 – привід бітера; 7 – вивантажувальна горловина; 8 – каток; 9 – привід барабана; 10 – механізм регулювання кута нахилу барабана.	Переваги: - забезпечує змішування вологих кормів для ВРХ в потоці; - виконує псевдорозрихлення моноліту; - згладжує нерівномірні потоки; - регулює продуктивність. Недоліки: - низька корисна місткість барабана (до 30...40%); - висока металомісткість; - низька однорідність готової суміші; - високий рівень сегрегації кормів у суміші.	Модифікації змішувачів гравітаційних неперервної дії (24 типорозміри) фірми «Міод», Німеччина, барабанний гравітаційний штифтовий з лопатевим бітером конструкції Б.В. Кононова СІМСГ (СРСР)

1	2	3
Агрегат для приготування сумішей безперервної дії АПК-10А стаціонарний молотковий (СРСР)  1 – кормороздавач – живильник КТУ-10А (КТУ 20.000); 2 – транспортер; 3 – розпилювач розчинів мікро- і мікродобавок; 4 – дозатор концкормів; 5 – змішувач мікродобавок і меласи; 6 – кран; 7 – мийка коренеплодів; 8 – насос 2К – 6; 9 – насос 3Ф – 12; 10 – відстійник; 11 – транспортер готової суміші; 12 – подрібнювач – змішувач; I – зона ножів; II – зона молотків; III – зона кидалки.	Переваги: - забезпечує приготування вологих кормосумішей для ВРХ і свиней; - потокове приготування і змішування кормів. Недоліки: - не відповідає вимогам за однорідністю сумішей; - переподрібнення компонентів; - висока енергомісткість і металомісткість.	Дробарка-змішувач ДИС-1М, ИРМА-15, ИРМ-50, ИГК-30Б, ИГК-Ф-4 з штифтово-комбінованими і молотковими мішалками (СРСР)
Двовальний лопатевий запарник – змішувач С-12А порційної дії з периферійним розташуванням лопатей (СРСР)  1 – бункер; 2- парозподільник; 3 – лопатева мішалка; 4 – вивантажувальний шнек; 5 – вивантажувальна горловина; 6 – привід засувки; 7 – завантажувальний люк; 8,9 – привід мішалки.	Переваги: - приготування запарених і сирих вологих кормосумішей для ВРХ і свиней; - забезпечує порційне приготування повнораціонних вологих кормосумішей; - регулює продуктивність часом змішування. Недоліки: - висока металомісткість і енергомісткість; - низька якість суміші; - довгий час перемішування; - складність конструкції.	Лопатеві змішувачі АПС-6, С-2, С-7 (СРСР)

1	2	3	
Змішувач – кормороздавач пересувний обладнаний горизонтальними трьохвальними шнеками РПС – 10 (СРСР)  1 – бункер; 2 – нижній шнек; 3 – верхні шнеки; 4 – вивантажувальний транспортер; 5 – заслінка; 6 – привід; 7 – шасі; 8 – рама; 9 – карданна передача	Переваги: - забезпечує приготування і роздавання збалансованих вологих кормосумішей для ВРХ; - висока продуктивність; - висока технологічна надійність процесу. Недоліки: - низька якість суміші; - висока металомісткість і енергомісткість.	Змішувачі-кормороздавачі пересувні з горизонтальними шнеками: APC-10 (СРСР), ТАК-7 фірми Мезенер (Угорщина), Н-180 фірми «Batler Osvalt», США, «Mixer Blender», Італія, EUROMIX II фірми KUHN, SILOKING фірми Mayer, Німеччина	
Комбінований стрічково-лопатевий одновальний змішувач кормів порційної дії (КНТУ) 	Переваги: - використовується двохсекційна мішалка з гвинтовими периферійними стрічками і радіальними пальцями та секцією з плоскими лопатями з різним напрямком кута нахилу до осі вала, що забезпечує ефективне змішування вологих кормів для ВРХ; - отримується задана однорідність суміші; - підвищується продуктивність і надійність технологічного процесу; - забезпечується прискорення інтенсифікації дифузійного процесу		

Одним із найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності процесу змішування кормів є подальше вдосконалення підходів до розв'язання цієї проблеми, упровадження раціональних методів приготування кормових сумішей для ВРХ, а також розроблення й створення нових технічних засобів. Функціонування таких машин ґрунтується на оптимізації виконання технологічних операцій та підвищенні їх технічного рівня, що забезпечує виробництво повнораціонних кормосумішей на молочно-товарних і м'ясних фермах.

У межах вирішення зазначеної проблеми та з метою усунення недоліків традиційних змішувачів колективом кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ було розроблено нову конструкцію лопатевого змішувача. Результати проведених випробувань підтвердили його високу ефективність.

Висновки по розділу

Проведений аналіз наукових джерел, присвячених технологіям приготування кормів і конструкціям змішувачів, що використовуються в кормоцехах для ВРХ, свідчить про таке:

- змішувачі періодичної дії з лопатевими робочими органами вирізняються відносною простотою конструкції, стабільною роботою та прийнятними експлуатаційними показниками. Порційні змішувальні установки менш чутливі до коливань рівномірності подачі компонентів. Досягнення необхідної технологічної якості суміші в них, як правило, забезпечується шляхом збільшення тривалості перемішування, що водночас призводить до зниження продуктивності, підвищення енерговитрат і металомісткості. Змішувачі безперервної дії, у свою чергу, не завжди гарантують достатню рівномірність і однорідність кормової суміші, а отже, не забезпечують належної якості процесу змішування;

- підвищення показників якості виконання технологічного процесу змішування кормів у потокових лініях приготування кормосумішей у стаціонарних і мобільних кормоцехах може бути досягнуте шляхом: застосування удосконалених конструкцій мішалок змішувачів кормів

періодичної дії; обґрунтування кінематичних і конструктивних параметрів лопатевих мішалок з урахуванням фізико-механічних властивостей кормових компонентів;

- підвищення якості роботи обладнання та зменшення питомих витрат енергії на приготування кормових сумішей;

Використання нової конструкції лопатевої мішалки з потоково-контурною циркуляцією суміші в корпусі змішувача дає змогу покращити якість і ефективність процесу змішування. Це досягається шляхом оснащення одновальної мішалки по її периферії плоскими лопатями, встановленими на трубі з різними напрямками кутів їх нахилу до осі мішалки в парних (сусідніх) рядах, а також розміщенням по внутрішній поверхні труби радіальних пальців.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Актуальність теми досліджень. Ефективне та стабільне функціонування тваринницької галузі, виробництво продукції високої якості й зменшення її собівартості можливі лише за умов упровадження комплексної інтенсифікації виробництва. Вона передбачає розвиток і зміцнення кормової бази шляхом використання прогресивних способів заготівлі та зберігання повноцінних кормів, а також застосування сучасних технологій їх підготовки до згодовування й виготовлення збалансованих повнораціонних кормосумішей. Упровадження зазначених заходів сприяє підвищенню органолептичних і смакових показників кормів та забезпечує більш раціональне використання відходів сільськогосподарського виробництва.

Мета та завдання досліджень. Саме метою даної роботи є підвищення якості та ефективності процесу приготування повнораціонних і збалансованих кормових сумішей з різною кількістю кормових компонентів для великої рогатої худоби, а також удосконалення конструкції лопатевої мішалки змішувача шляхом обґрунтування її конструктивних і режимних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких основних завдань:

- виконати аналіз сучасних літературних джерел та визначити перспективні напрями розвитку конструкцій лопатевих змішувачів;
- обґрунтувати технологічну схему лопатевої мішалки змішувача і визначити раціональне розташування лопатей;
- дослідити кінетику руху лопатевої мішалки та встановити оптимальні режими її роботи;
- провести експериментальні дослідження в лабораторних умовах із використанням натурного зразка та відповідних вимірювальних засобів;
- здійснити обробку результатів експериментальних досліджень із застосуванням методів теорії ймовірностей, математичної статистики та спеціалізованих програмних засобів.

Об'єктом дослідження є процеси змішування кормів та їхніх компонентів для великої рогатої худоби, а також процес сумішоутворення у змішувачах, оснащених мішалкою з плоскими лопатями.

Предметом дослідження є обґрунтування конструктивних і режимних параметрів лопатевої мішалки змішувача порційної дії, призначеного для приготування збалансованих повнораціонних кормових сумішей.

Методи дослідження передбачають теоретичний аналіз із використанням математичних методів моделювання технологічного процесу змішування кормових компонентів лопатевою мішалкою. Крім того, виконано комплекс лабораторних експериментальних досліджень за стандартними методиками з використанням натурального зразка змішувача та відповідних вимірювальних засобів. Обробку отриманих експериментальних даних здійснено із застосуванням методів теорії ймовірностей і математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

- оцінено комплексний вплив конструктивних параметрів руху плоских лівих і правих лопатей із жорстко закріпленими радіальними пальцями на показники якості роботи змішувача;
- теоретично досліджено та обґрунтовано основні параметри вдосконалених робочих органів розробленої лопатевої мішалки.

3.2. Запропонована програма експериментальних досліджень.

З урахуванням поставлених завдань дослідження та результатів попереднього аналізу було розроблено програму експериментальних досліджень, яка передбачає виконання таких етапів:

- обґрунтування та підбір складу компонентів кормової суміші для проведення експериментальних досліджень;
- дослідження якісного впливу геометричних параметрів плоских лопатей і кута їх нахилу на технологічну ефективність процесу змішування кормів;
- здійснений аналіз впливу режимів роботи мішалки на якісні характеристики отриманої кормової суміші;

- можливе оцінювання ефективності змішування кормів із застосуванням комбінованої мішалки, що поєднує гвинтові та плоскі лопаті з радіальними пальцями;
- визначення питомих енергетичних витрат та встановлення необхідної потужності приводу мішалки.

3.2.1. Вибір якісного складу компонентів для приготування кормової суміші

Світовий досвід свідчить, що в останні роки у галузі кормовиробництва активно впроваджуються сучасні технології, спрямовані на удосконалення процесів переробки кормів та приготування нормованих, збалансованих кормових сумішей. До складу таких сумішей дедалі частіше вводять різноманітні збагачувальні добавки, зокрема вітаміни, ферментні препарати, біостимулятори, транквілізатори, а також інші лікувально-профілактичні засоби.

В Україні у галузі скотарства, зокрема при виробництві молока та яловичини, у зоотехнічній практиці застосовуються деталізовані повнорационні норми годівлі. Їх збалансованість контролюється за 22-23 основними поживними показниками, що досягається завдяки використанню багатокомпонентних типів годівлі, адаптованих до умов різних регіонів.

Під час проведення експериментальних досліджень для приготування збалансованої кормової суміші було використано сінажно-силосно-коренеплідний тип годівлі. У структурі кормового раціону переважали сінаж, силос, коренеплоди, солома та концентровані корми. Прийняте у дослідженнях співвідношення компонентів за масою становило: силос - 32,5 %, далі сінаж - 26,6 %, потім солома - 29,5 %, а також концентровані корми - 5,4 % та на решті, коренеплоди - 6,0 %

3.2.2. Обчислення якісної оцінки запропонованої кормової суміші

Технологічну якість процесу змішування кормів у порційному змішувачі оцінювали з урахуванням складу рецептури (раціону) та ступеня рівномірності розподілу контрольного компонента після завершення змішування. Для цього із

загального об'єму готової кормової суміші відбирали 10-15 проб, використовуючи спеціальний пробовідбірний пристрій.

Кількісну оцінку повноти процесу змішування визначали за показником однорідності суміші. Цей показник розраховували згідно виразу [4], а саме як відношення фактичного вмісту контрольного компонента в кожній окремій пробі до його нормативного значення, передбаченого рецептурою створеної кормової суміші:

$$Q = \frac{V_T}{S}, \quad (3.1)$$

де: V_T - кількісний показник теоретичного значення середньоквадратичного відхилення, тобто:

$$V_T = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{\gamma} (x_i - P)^2 / (\gamma - 1)}, \quad (3.2)$$

де: x_i - кількісний чинник вмісту контрольного компонента в сформованій i -й пробі; далі P - вагомий вміст долі утвореного контрольного компонента; нарешті, M – емпіричний чинник, що якісно характеризує середньоквадратичне відхилення, що обчислюється за такою формулою [5]:

$$M = \sqrt{\sum_{i=1}^{\gamma} (x_i - \bar{x})^2 / (\gamma - 1)}, \quad (3.3)$$

де: $\bar{x}$ - це середньоарифметичний чинник отриманої долі контрольного компонента в усіх задіяних пробах;

γ - чинник, що характеризує кількість потрібних проб.

Ступінь однорідності суміші оцінювали у відсотках або частках одиниці. Таким чином, основним критерієм оцінювання ефективності процесу змішування кормів прийнято коефіцієнт неоднорідності (варіації) W_n , який характеризує рівномірність розподілу компонентів у кормовій суміші та визначається за відповідною залежністю.

$$W_n = \frac{M}{\bar{x}} \cdot 100, \%, \quad (3.4)$$

де: M – чинник, що характеризує середньоквадратичного відхилення даного контрольного компонента згідно проведених нами дослідними результатами.

Отже, ми встановлюємо ступінь однорідності у відсотках та проводимо відповідні обчислення користуючись наступним виразом:

$$Q = 100 - W_H, \%. \quad (3.5)$$

Для створення якісної оцінки процесу змішування кормів використовували створені проби масою 300 г із вмістом контрольного компонента приблизно на рівні 1 %, що відповідало 36 вирівняним насінинам сої. Далі, аналіз відібраних проб проводили для готових вже кормових сумішей, отриманих за різної тривалості змішування, а саме: 1, 4, потім 7, далі 10, 13 та на завершення 17 хвилин.

3.2.3. Характерні експериментальні лабораторні установки

Експериментальні дослідження одновального лопатевого змішувача кормів примусової дії проводили у два послідовні етапи. На першому етапі досліджували вплив конструктивних і кінематичних параметрів одноступеневої багатосекційної мішалки, оснащеної плоскими периферійними лопатями, встановленими під різними кутами нахилу до осі валу, а також радіальними пальцями.

Другий етап досліджень був спрямований на якісне вивчення роботи комбінованої двоступеневої мішалки, конструкція якої передбачала використання певної кількості периферійних гвинтових і плоских лопатей із конструкцією радіальних пальців. Основною або визначальною метою цього етапу було реалізація якості змішування кормів та ефективне оцінювання енергетичних витрат під час роботи самого змішувача.

Для реалізації першого етапу експериментальних досліджень застосовували малогабаритну одноступеневу пересувну установку, схема якої виражено на рисунку 3.2. Сама установка змонтована на металевій рамі 14 та включає одновальний змішувач із певною ємністю 1, далі ліві та праві лопаті 2 і 10, потім вал 11, а також радіальні пальці 3, завантажувальну горловину 13, стійку з вертикальним напрямком 12, горизонтальну трубу 9, опору для фіксації

7, електродвигун 5, еластичну муфту 4, випрямляч 6 та пристрій для вивантаження потрібної маси 8.

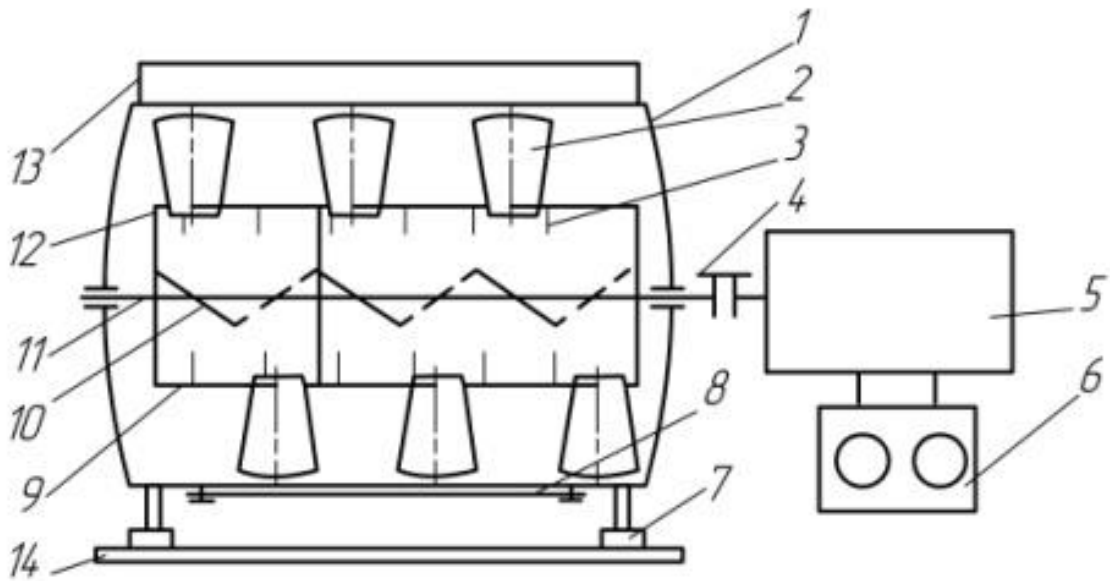


Рис. 3.1. Вдосконалена нами схема експериментальної установки запропонованого змішувача кормів:

1 - розроблена ємність для компонентів; 2 – лопать права плоскої форми; 3 – радіальні пальці круглого перетину; 4 - муфта; 5 - електродвигун; 6 – випрямувач потрібної напруги; 7 – опора для тримання конструкції; 8 - вивантажувальний пристрій; 9 – труба горизонтального напрямку; 10 - лопать ліва плоскої форми; 11 - вал; 12 - вертикальна стійка округлої форми; 13 – горловина для завантаження певних компонентів

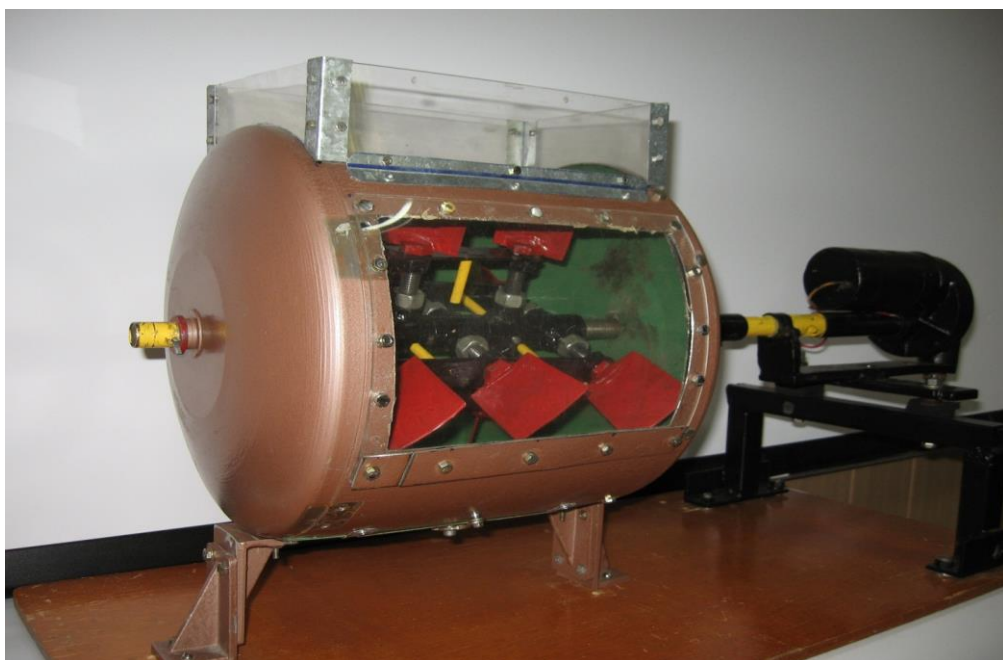


Рис. 3.2. Розроблений екземпляр експериментального змішувача

Технічні характеристики експериментального стенда для дослідження одноступеневого одновального змішувача примусової дії визначали з урахуванням різних режимів перемішування кормових компонентів, а також змін ширини плоских лопатей і кутів їх нахилу відносно осі валу мішалки.

З метою визначення найбільш раціонального режиму роботи змішувача було передбачено можливість регулювання частоти обертання вихідного валу в межах 10, 20, 30, 60, 90 та 120 об/хв.

У процесі проведення експериментальних досліджень ширину плоских лопатей (конструкція їх показана на рисунку 3.3) змінювали в установлених межах таких як, $0,2R_d$, $0,3R_d$, $0,4R_d$, $0,5R_d$, $0,6R_d$, а кут їх нахилу відносно осі валу також варіювали відповідно до програми досліджень, відповідно $20, 35, 45, 55, 70^\circ$.

Під час виконання кожного експерименту частоту обертання лопатевого валу контролювали за допомогою тахометра НО-30, а споживану потужність приводу визначали з використанням вимірювального комплексу К-50.

Псевдорозпушування кормової суміші забезпечували радіальні пальці діаметром 10 мм і довжиною 60 мм, які встановлювали з кроком 80 мм, що сприяло інтенсифікації процесу перемішування та підвищенню однорідності кормової суміші.

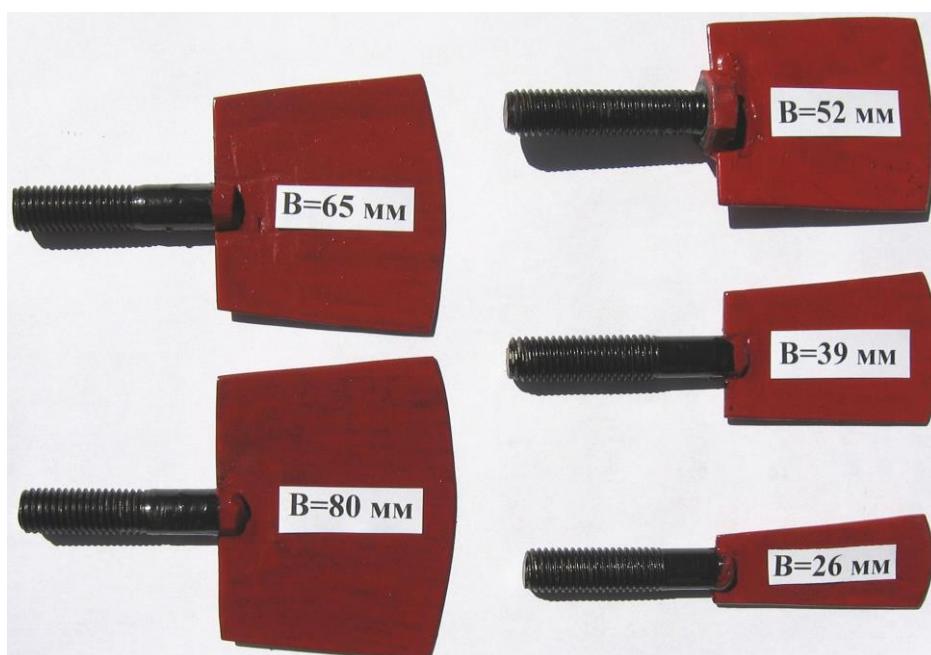


Рис. 3.3. Загально прийнята партія виготовлених нами лопатей

Характерний ступінь завершеності процесу змішування оцінювали за тривалістю перемішування та результатами аналізу відібраних проб. Візуальний контроль самого процесу приготування кормової суміші в експериментальному змішувачі здійснювали через передню стінку установки, виготовлену з якісного органічного скла, що дозволяло безперервно спостерігати за зміною характеру переміщення заповнених компонентів під час роботи даної мішалки.

3.2.4. Запропонована нами методика стосовно визначення раціональних параметрів даного змішувача кормів для ВРХ

Досягнення максимальної технологічної ефективності процесу змішування кормів для великої рогатої худоби із застосуванням периферійних лопатевих мішалок можливе лише за умови раціонального поєднання та узгодженої взаємодії конструктивних і кінематичних параметрів розробленого змішувача. Дослідження окремого впливу кожного з параметрів не дозволяє повною мірою оцінити їх сумарний вплив на якість змішування.

Для встановлення закономірностей взаємного впливу зазначених параметрів було застосовано метод математичного планування багатфакторного експерименту, який дав змогу отримати математичну модель досліджуваного об'єкта у вигляді рівняння регресії.

На основі теоретичного аналізу та результатів попередніх пошукових експериментів було визначено основні конструктивні й кінематичні параметри змішувача, а також оцінено вплив окремих факторів і рівнів їх варіювання на процес змішування. З урахуванням найбільш значущих факторів для подальших досліджень було прийнято: ширину лопаті b , що має плоску форму, далі частоту n , стосовно обертання валу мішалки, на решті, кут α нахилу лопаті до осі валу, і відповідно, показник тривалості операції змішування кормів.

Параметричні обмеження, що визначають рівні варіювання зазначених факторів, наведено у сформованій таблиці 3.2.

Певні рівні варіювання визначених нами факторів при їх обчисленні

№ п/п	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	найменування	позначення	верхній (+)	нижній (-)	
1	Ширина лопаті b , мм	x_1	$0,5R_{\text{л}}$	$0,3R_{\text{л}}$	$0,1R_{\text{л}}$
2	Кут нахилу лопаті α , град.	x_2	55	35	10
3	Частота обертання валу n , об/хв	x_3	90	30	30
4	Тривалість часу змішування, t , хв.	x_4	10	4	3

Нарешті, з вище приведених певних умов досить важливими критеріями оптимізації для характерного процесу змішування компонентів кормів є таке:

- чинник неоднорідності сформованої суміші, $V_{\text{н}},\%$, а саме:

$$(Y_1 = V_{\text{н}},\%);$$

- наявна потужність приводу даного змішувача $N, \text{кВт}$, тобто

$$(Y_2 = N).$$

3.3. Отримані нами наявні результати експериментальних досліджень

Для дослідження впливу окремих факторів на критерії оптимізації доцільно використовувати експериментальні графіки розсіювання з гістограмами, що приведено нами на рисунку 3.4, побудовані у програмному середовищі STATISTICA 6.0. Застосування такого підходу забезпечує наочне відображення взаємозв'язків між досліджуваними параметрами, дозволяє визначити раціональні значення кожного з факторів, а також отримати

об'єктивні показники ефективності процесу змішування кормів і рівня енергоспоживання приводу валу мішалки.

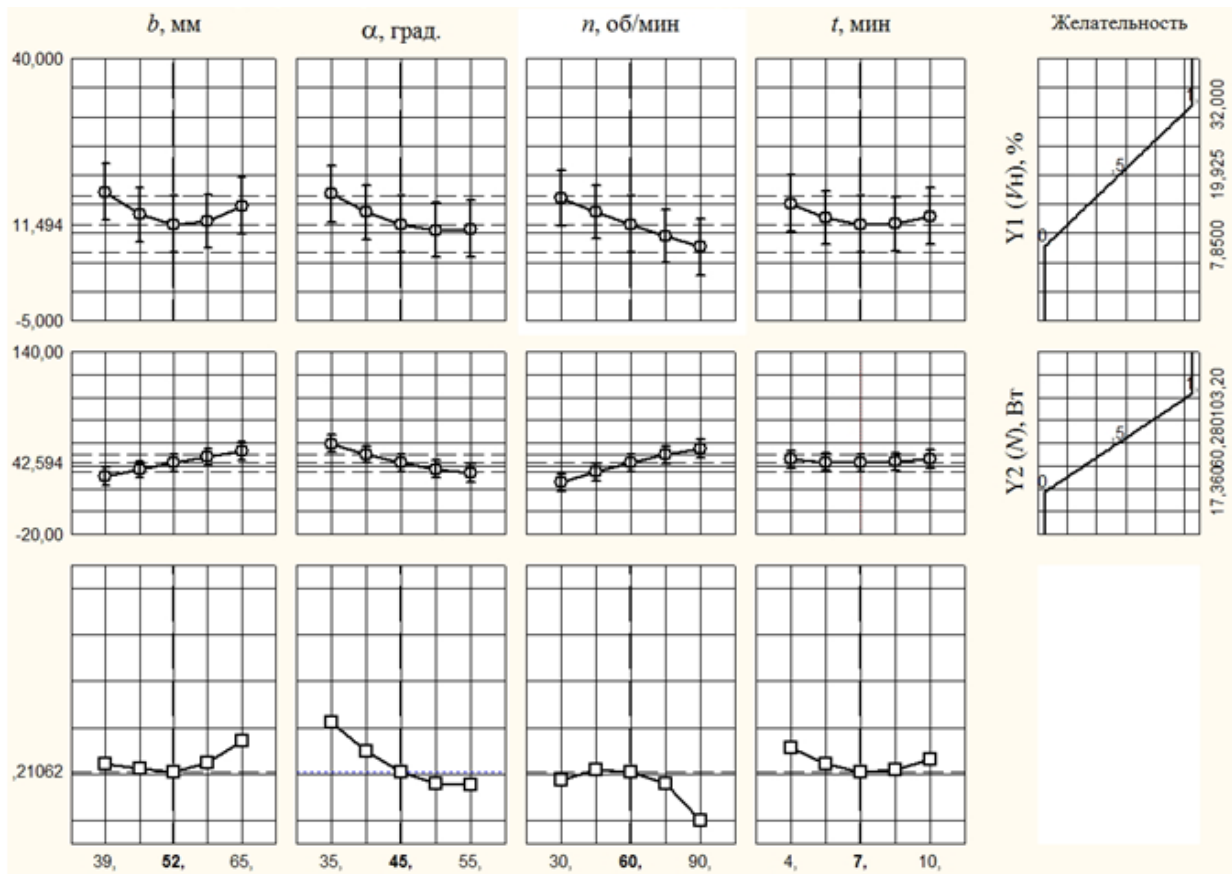


Рис. 3.4. Отримані нами графіки стосовно розсіювання з гістограмами, які характеризують вплив якості факторів на встановлені показники змішування даних кормів.

Проведений нами аналіз експериментальних графіків розсіювання з гістограмами дозволив уточнити характер змін досліджуваних факторів і оцінити їх взаємний вплив на обидва критерії оптимізації. Зокрема встановлено, що зі збільшенням кута нахилу плоскої лопаті ефективність змішування кормів має тенденцію до незначного зниження.

На підставі отриманих результатів визначено, що найбільш раціональним є певне значення ширини плоскої лопаті, яке забезпечує оптимальні умови перемішування компонентів кормової суміші. При цьому для досягнення максимальної ефективності змішування за мінімальних енерговитрат частота обертання валу мішалки не повинна перевищувати 80-90 об/хв.

За дотримання зазначених параметрів раціональна тривалість процесу змішування кормів становить 6-8 хвилин, що забезпечує отримання однорідної кормової суміші при оптимальному рівні енергоспоживання.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.2. Технологічні обчислення

4.2.1. Зоотехнічні та задіяні технологічні стандарти, що ставляться до розробленого нами запарника-змішувача кормів для ВРХ

Наявна характеристика запарника-змішувача марки СКО-Ф-3,0

Таблиця 4.1

№ п/п	Найменування показників	Значення показників
1	2	3
1	Тип	Стаціонарний одновальний
2	Продуктивність при приготуванні вологих <u>кормосумішок</u> без врахування часу на завантаження без запарювання при дії змішування 10-15 хв, т/год	4,7
3	Об'єм резервуара, м ³	3,0
4	Маса змішувача, кг: -з конвеєрами і шафою керування -без конвеєрів і шафи керування	2370 1700
5	Потужність двигунів, кВт: -змішувача з конвеєрами -змішувача без конвеєрів	11,07 7,37
6	Частота обертання <u>вала</u> мішалки, С ⁻¹ (хв ⁻¹)	0,3 (18)
7	Енергетичні показники: привід змішувача редуктор	Електродвигун 4АІ32 S 6БСУІ N=5,5 кВт Ц2У-250-31,5-11-КУІ
8	привід механізму засувки привід вивантажувального шнека	електродвигун 4ААМ63ВУСУІ N=0,37 кВт мотор-редуктор І МП з 2- 40-56ЦУІ N=1,5 кВт
9	Рівномірність змішування, %	до 90
10	Витрати пари на 1 т корма при запарюванні, кг	160-200
11	Кількість обслуговуючого персоналу, <u>чол.</u>	1
12	Питомі витрати енергії, $\frac{\text{квт} - \text{год}}{\text{т}}$ змішувач з конвеєрами змішувач без конвеєрів	2,4 1,64
13	Затрати праці, $\frac{\text{люд} - \text{год}}{\text{т}}$	0,22

Типовий змішувач марки СКО-Ф-3,0 є одновальним апаратом періодичної дії, призначеним для приготування повнораціонних кормових сумішей на основі вологих кормів із додаванням різних кормових компонентів. Його застосовують у кормоцехах, що працюють за потоково-технологічною схемою із використанням спеціалізованих машин і обладнання.

Модернізований змішувач СКО-Ф-3,0 виконано у стаціонарному варіанті, що дає змогу ефективно використовувати його як у невеликих фермерських господарствах, так і на великих тваринницьких комплексах із значним поголів'ям великої рогатої худоби.

Відповідно до рекомендацій заводу-виробника змішувач може експлуатуватися в більшості кліматичних зон країни. Нормальна робота обладнання забезпечується за температури навколишнього середовища не нижче $+5^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості повітря до 37 %.

Привід змішувача здійснюється від трифазних електродвигунів змінного струму з нульовим робочим проводом, які працюють від електромережі напругою 380 В і частотою 50 Гц. Допустиме відхилення напруги живлення не повинно перевищувати $\pm 10\%$.

Попередньо підготовлені відповідно до добового раціону для великої рогатої худоби компоненти корму завантажують у змішувальну ємність, де формується волога кормова суміш із вологістю 65-85 %. Якість отриманої суміші оцінюють за показником однорідності, який становить близько 86 %, що відповідає діючим нормативним вимогам.

Змішувач СКО-Ф-3,0 призначений не лише для стандартного перемішування компонентів, але й може забезпечувати запарювання окремих груп кормових інгредієнтів з подальшим їх дозуванням. Після цього виконується додаткове завантаження компонентів і повторне перемішування кормової суміші.

За конструктивним виконанням змішувач оснащений бункером місткістю до 3 м³. Продуктивність агрегату в режимі звичайного перемішування без запарювання становить приблизно 4,7 т/год, тоді як у

режимі запарювання кормових компонентів вона зменшується до 0,5-1,5 т/год.

Інші технічні характеристики змішувача СКО-Ф-3,0 наведені у таблиці 4.1.

Для контролю рівня завантаження кормів у змішувачі передбачено використання датчика рівня та водоміра. У складі потоково-технологічної лінії забезпечується повна механізація та автоматизація всіх етапів технологічного процесу. Керування роботою змішувача здійснюється дистанційно з пульта управління з обов'язковим дотриманням вимог техніки безпеки.

Згідно з інструкцією з експлуатації обслуговування змішувача виконує один кваліфікований оператор. Орієнтовний термін експлуатації обладнання становить близько 8 років.

Основні показники надійності та ефективності роботи змішувача мають такі значення:

- коефіцієнт надійності - 0,85;
- коефіцієнт готовності - 0,99;
- коефіцієнт технічного обслуговування - 0,96;
- показник технологічного використання - 0,97.

4.2.2. Розрахунок продуктивності активної мішалки

Попередньо підготовлені відповідно до добового раціону кормові компоненти завантажують у бункер-запарник змішувача СКО-Ф-3,0. У центральній частині ємності розміщена мішалка, що має чотири ряди лопатей, жорстко закріплених на вертикальних стійках під кутом 45°.

Лопаті розташовані почергово: перший ряд орієнтований праворуч, наступний - ліворуч, і така послідовність зберігається по всій довжині валу. Це забезпечує інтенсивне перемішування та рівномірний розподіл компонентів кормової суміші.

Робочі органи мішалки виконані у вигляді плоских лопатей із такими основними розмірами:

- ширина - 235 мм;

- довжина - 295 мм.

Площа поверхні однієї лопаті становить $F_{\text{л}}=0,0528 \text{ м}^2$, а її бічна проєкція визначається як $F_{\text{лб}}=F_{\text{л}} \cdot \sin \alpha = 0,0376 \text{ м}^2$.

У стінках бункера встановлені додаткові робочі елементи - пальці, які інтенсифікують процес перемішування. Їх довжина становить 0,08 м, а діаметр - 0,01 м.

Процес формування кормової суміші відбувається таким чином: плоскі лопаті надають компонентам рух у різних напрямках, створюючи інтенсивні потоки матеріалу. Водночас пальці забезпечують додаткове розпушування маси, зменшуючи її щільність і покращуючи умови для глибокого перемішування.

Через певні 3-4 хвилини роботи процес переходить у більш інтенсивну фазу, що сприяє ефективному змішуванню компонентів на мікрорівні. Узгоджена дія робочих органів забезпечує рівномірний розподіл частинок у суміші, що підвищує її однорідність, скорочує тривалість циклу змішування та збільшує загальну продуктивність агрегату.

Продуктивність лопатевого змішувача при приготуванні заданої кормової суміші визначають за аналітичним виразом [6] згідно літературних джерел, а саме без урахування тривалості допоміжних операцій (завантаження та запарювання), за умови, що кількість циклів приготування однієї порції не перевищує десяти відповідно до встановлених технологічних вимог:

$$G_{\text{зм}} = \frac{3,6 \cdot \varphi \cdot \theta \cdot F_{\text{лб}} \cdot \omega \cdot R_{\text{л}} \cdot t \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot (z-1) \cdot k}{n_{\text{ц}}}, \text{ т/год}, \quad (4.1)$$

де: φ - чинник, що чітко враховує якісне заповнення лопаті плоскої форми, $\varphi = 0,84$;

θ - це відповідний чинник, що характеризує кратність переміщення сформованої лопаттю порції за 1 оберт даної конструкції мішалки;

$F_{\text{лб}}$ - певна площа поверхні з бічним перерізом лопаті, що має плоску форму, м^2 ;

R_n – це значення радіусу даної мішалки, що наявно характеризується відстанню від центру валу до кінця розробленої нами лопаті, м;

$\iota = 300 - 345 \text{ кг/м}^3$ - чинник, що обумовлює певну щільність задіяних в раціоні компонентів перед операцією завантаження їх до бункеру, кг/м^3 ;

ν_1 - чинник, що чітко вказує на ефективне відокремлення певної порції корму лопаттю, що діють в активній зоні. Значення його коливань $\nu_1 = 0,9 \dots 0,95$;

Далі чинник $\nu_2 = \frac{\sin \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}$. Він характеризує складову між утвореним кутом тертя та відповідно кутом нахилу лопаті плоскої конструкції до вісі валу розробленого нами змішувача;

Z - це кількість лопатей, що при операції можуть одночасно занурюватися в сформований моноліт корму. Вони розташовані з певним кроком S при чому в одного ряду;

далі k - виготовлені ряди, що наявно існують в мішалці;

n_u - чинник, що характеризується періодичність в операції.

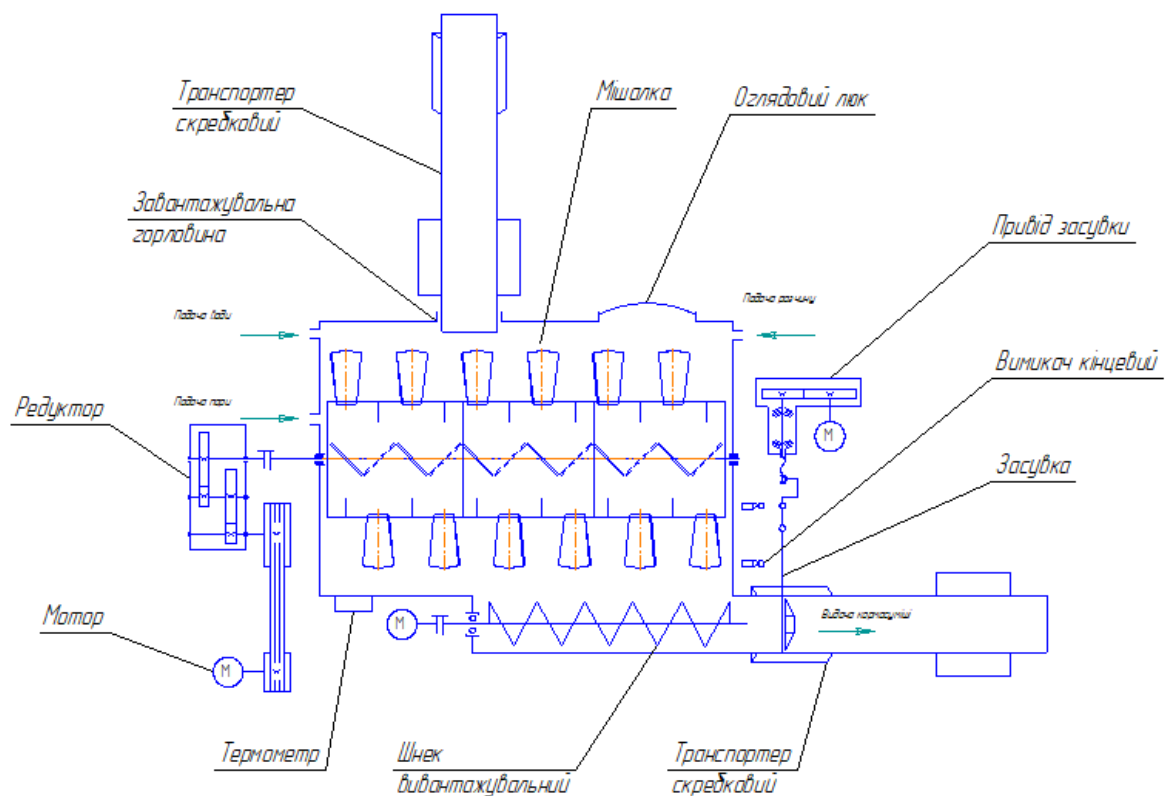


Рис. 4.1. Виконана схема лопатевого запарника моделі СКО-Ф-3,0.

Отже, ми підставляємо до вищевказаної формули 4.1 відомі вже значення та проводимо розрахунок продуктивності задіяного змішувача:

$$G_{зм} = \frac{3,6 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 0,0371 \cdot 1,9 \cdot 0,58 \cdot 310 \cdot 0,95 \cdot \sin 45^{\circ} \cdot (6-1) \cdot 4}{(1 + \operatorname{tg} 45^{\circ} \cdot \operatorname{tg} 27^{\circ}) \cdot 50} = 7,17 \text{ т/год.}$$

Користуючись при цьому наведеною формулою, ми встановлюємо продуктивність вже модернізованого змішувача без використання операції запарювання, коли відбувається певна послідовність - завантаження згідно раціону компонентів, потім активне змішування та нарешті вивантаження готової суміші в мобільний роздавачі:

$$t_{ц} = 2 + 7,25 + 6,48 = 15,73 \text{ хв.}$$

$$G_{зм} = \frac{3 \cdot 0,8 \cdot 0,35 \cdot 60}{15,73} = 3,21 \text{ т/год.}$$

Далі користуючись аналогічною формулою встановлюємо продуктивність задіяного в операції змішувача з урахуванням також операції запарювання та часу на ефективне завантаження підготовлених заздалегідь компонентів, потім їх перемішування та знову ж вивантаження готової суміші до колісного роздавача:

$$t_{ц} = 2 + 40 + 7,25 + 6,48 = 55,73 \text{ хв.,}$$

$$G_{зм} = \frac{3 \cdot 0,8 \cdot 0,35 \cdot 60}{55,73} = 0,91 \text{ т/год.}$$

4.2.3. Визначення частоти стосовно обертання валу мішалки.

З метою встановлення швидкості руху лопаті, що має плоску форму, попередньо ми маємо розглянути таку умову. Вона полягає в тому, що відцентрова сила $m \cdot \omega^2 \cdot R_{л}$, не має перевищувати показник сили тяжіння mg рухомої частки задіяного компонента. Коли виникає, що відцентрова сила є дещо меншою за силу тяжіння, відповідно при занурені плоскої лопаті в сформований моноліт не забезпечується ефект захоплення самого корму. В такому випадку є ймовірнісного зниження інтенсивності та загального проходження процесу сумішоутворення.

Користуючись подалі описаною умовою, яка свідчить, що $m \cdot \omega^2 \cdot R_{\text{л}} \leq mg$. І знову швидкість буде мати критичне значення при використанні такої формули:

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{g}{R_{\text{лоп.}}}} \quad (4.2)$$

де: $R_{\text{лоп.}}$ – це радіус лопаті. Він має становити $R_{\text{лоп}} = 0,572\text{м}$;

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{9,81}{0,572}} = 5,47 \text{ с}^{-1}.$$

Ефективність роботи машини в операції змішування характеризується кутовою швидкістю, що визначається з формули:

$$\omega = \frac{\omega_{\text{кр}}}{2}, \quad \omega = \frac{5,47}{2} = 2,73 \text{ с}^{-1}.$$

Далі, показник частоти стосовно обертання валу мішалки ми встановлюємо скориставшись таким виразом:

$$n = \frac{30\omega}{\pi}, \quad n = \frac{30 \cdot 2,73}{3,14} = 26,12 \text{ об/хв.} \quad (4.3)$$

В цьому випадку ми приймаємо значення частоту 26 об/хв., що є доцільним при виконанні операції змішування.

4.2.4. Обчислення показника частоти стосовно обертання валу вивантажувальної конструкції.

Для розрахунку частоти стосовно обертання вивантажувального шнеку ми задіємо формулу [6] згідно літературних джерел:

$$n = \frac{G_{\text{шнеку}}}{47,1 \cdot \left[(D + 2\sigma)^2 - d^2 \right] \cdot S \cdot \tau \cdot i \cdot C}, \text{ об/хв,} \quad (4.4)$$

де: $G_{\text{шнеку}}$ - чинник стосовно продуктивності шнеку в операції вивантаження вже готової суміші, т/год.

Отже:

$$G_{\text{ш}} = \frac{g \cdot \tau \cdot i}{t_{\text{с}}}, \quad G_{\text{шнеку}} = \frac{3 \cdot 0,84 \cdot 0,35 \cdot 60}{7} = 7,54 \text{ т/год.}$$

де: D та d – це конструктивні діаметри шнеку та виготовленого валу.
Вони становлять таке, а саме: $D = 0,273$ м, $d = 0,076$ м;

σ - чинник, що характеризує наявність радіального зазору між гвинтовою лінією самого шнека та відповідно, поверхнею корпусу, отже $\sigma = 0,01$ м;

S - це показник, що вказує та характеризує крок гвинта, він має таке значення $S = 0,25$ м;

τ - ймовірний показник заповнення вивантажувального шнеку, він є $\tau = 0,97$;

i - це об'ємна маса заздалегідь підготовлених компонентів, тобто $i = 0,36$ т/м³;

C - це чинник, який характеризує ймовірне зниження продуктивності за рахунок нахилу шнека, тобто $C = 1$.

І нарешті, ми маємо змогу підставити до формули 4.4 вже відомі показники та провести встановлення частоти стосовно обертання валу:

$$n = \frac{7,54}{47,1 \left[(0,272 + 2 \cdot 0,01)^2 - 0,077^2 \right] \cdot 0,25 \cdot 0,97 \cdot 0,36 \cdot 1} = 23,67 \text{ об/хв.}$$

Ми встановлюємо частоту 24 об/хв., що позитивно впливатиме на якісне вивантаження готової продукції.

4.2.5. Обчислення швидкості руху механічної засувки для вивантаження готової продукції

З метою гарантування стабільної і досить ефективної роботи вивантажувального шнека ми маємо умову повного перекриття завантажувальної горловини при дійсному зазорі 8...10 мм. Якщо її дотримуватися, то ми маємо виконати встановити величину ходу самої засувки. Отже, залежність розраховується при використанні формули [7], яка наявно характеризує швидкість переміщення даної засувки:

$$g_{зас.} = \frac{S_{зас.}}{\chi_v}, \quad (4.5)$$

де: $S_{зас.}$ - це показник ходу засувки, стосовно пропозицій заводу-виробника він становить $S_{зас.} = 0,36$ м;

χ_{ϵ} - певний час, що характеризує максимальне відкриття засувки або максимальну продуктивність $\chi_{\epsilon} = 0,54$ с;

$$g_{зас.} = \frac{0,36}{0,54} = 0,67 \text{ м/с.}$$

4.3. Кінематичний розрахунок запарника моделі СКО-Ф-3,0.

Безумовно, що надійність операції змішування вже відомих компонентів передусім залежать від потужності задіяного в процесі електродвигуна. Як правило, ми маємо вибрати електродвигун, що має середнє значення стосовно обертання. Після цього за відповідною Далі користуючись залежністю [6], яка характеризує потрібне нам передаточне відношення для валу даної мішалки:

$$i_{заг} = \frac{\epsilon_{двиг.}}{\epsilon_{\epsilon}}, \quad (4.6)$$

де: ϵ_{ϵ} - це частота обертання валу. Так, в базовій моделі завод-виробник пропонує нам таке, а саме, $\epsilon_{\epsilon} = 25$ об/хв:

Отже:

$$i_{заг} = \frac{1600}{25} = 64$$

Проаналізувавши кінематичну схему моделі СКО-Ф-3,0, ми обчислюємо загальне передаточне число згідно виразу 4.7:

$$i_{заг} = i_{\text{м}} \cdot i_{\text{нн}}, \quad (4.7)$$

де: $i_{\text{м}}$ - це показник, що підкреслює ефективність мотор-редуктора з використання відповідного передаточного числа.

Таким чином, мотор-редуктор марки Ц2У-250-31,5-11-У2 задовольняє проведенню операції змішування компонентів. Так, $i_{\text{нн}}$ - це відношення з використанням клинопасової і воно становить $i_{\text{нн}} = 2,62$:

$$i_{заг} = 31,55 \cdot 2,62 = 82,57 .$$

Тепер, щоб операція вивантаження суміші була досить ефективною, підбираємо привід від електродвигуна до шнека. Він становить, а саме частота обертання 1480 об/хв. Використовуючи наступну формулу [8] згідно літературних джерел визначаємо передаточне число для приводного механізму:

$$i_{\text{заг}} = \frac{\varepsilon_{\text{двиг.}}}{\varepsilon_{\text{ш}}}, \quad (4.8)$$

де: $\varepsilon_{\text{ш}}$ - це частота обертання самого шнеку, тобто $\varepsilon_{\text{ш}} = 24$ об/хв.;

$$i_{\text{заг}} = \frac{1480}{24} = 61$$

Проводимо певне розкладання загального передаточного відношення на окремі передачі, тому маємо таке:

$$i_{\text{заг}} = i_{\text{м.р.}}, \quad (4.9)$$

де: $i_{\text{м.р.}}$ - це показник, що характеризує передаточне число для мотор-редуктора в приводній конструкції змішувача і $i_{\text{м.р.}} = 64$;

$$i_{\text{м.р.}} = 64.$$

Для засувки передбачено окремий привід з використанням електродвигуна, що має 1500 об/хв. Тобто, використовуючи наступну формулу, проводимо встановлення передаточного числа в приводі елемента-засувки:

$$i_{\text{заг}} = \frac{\varepsilon_{\text{двиг.}}}{\varepsilon_2} \quad (4.10)$$

де: ε_2 - це частота гвинтового валу разом з оригінально виконаною гайкою, що влаштовує відкривання та закривання засувки шнека для вивантаження продукції, тобто $\varepsilon_2 = 108$ об/хв;

$$i_{\text{заг}} = \frac{1500}{108} = 13,9$$

Перелік пропозицій зупинив нас на використанні електродвигуна-редуктора моделі 4AA63B4CYI. Він має потужність $N = 0,37$ кВт.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Спеціальна частина.

5.1.1. Обґрунтування розроблених інженерно-технічних заходів для попередження враження електричним струмом під час проведення робіт на лінії по виробництву молока.

Опір електричному струму в живому організмі визначається сукупністю чинників, зокрема станом шкірного покриву, фізіологічними особливостями організму та впливом умов навколишнього середовища. Загальний опір тіла людини формується з опору рогового шару $K_{ш}$ шкіри та внутрішніх тканин K_T .

$$K_{л} = K_{ш} + K_T,$$

де: K_T - показник опору тканин, Ом, він становить $K_T = 1000$ Ом.

Опір рогового шару шкіри визначається її вологістю, ступенем забруднення, місцем прикладання електродів, а також площею контакту шкіри зі струмоведучими частинами. У розрахунках опір тіла людини, як правило, приймають рівним $R_{л} = 1000$ Ом.

Сила електричного струму, що проходить через тіло людини, є основним чинником, який визначає характер і тяжкість ураження. Значення струму, що протікає через організм людини, визначають за відповідним виразом:

$$I_{л} = \frac{U_{\partial}}{K_{л}}, \quad (5.1)$$

де: U_{∂} - значення напруги дотику;

$K_{л}$ - сформований опір тіла людини.

Оператор, який доторкується до однієї фази (рис. 5.1.), буде підключений до інших фаз через різні опори ізоляції цих фаз відносно «землі» K_A , K_B . Зазвичай, у цьому випадку працівник потрапляє під діючу лінійну напругу $U_{л}$.

Отже, сила струму, що проходить через тіло працівника або взагалі людини, може бути розрахована за наступною формулою:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{K_{\text{люд}} + K_{\text{вз}} + K_{\text{п}} + K_{\text{з}} + \frac{K_{\text{із}}}{3}}. \quad (5.2)$$

При встановлені найбільш несприятливих умовах, коли $K_{\text{вз}} + K_{\text{п}} + K_{\text{з}} = 0$, тоді отримаємо такий вираз:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{K_{\text{люд}} + \frac{K_{\text{із}}}{3}}. \quad (5.3)$$

Так, у діючій мережі з показником $U_{\text{л}} = 380$ В та $K_{\text{із}} = 500000$ Ом, а також приймаючи $K_{\text{люд}} = 1000$ Ом, відповідно сила струму, що проходить крізь тіло людини має становити наступне:

$$I_{\text{л}} = \frac{380}{1000 + \frac{500000}{3}} = 2,2 \text{ mA}.$$

Такий струм при своїй дії не викликає небезпеки для життя працівника. Але при суттєвому зниженні опору ізоляції, наприклад до 5000 Ом, сила струму досягає смертельно небезпечного значення і тоді становить:

$$I_{\text{люд}} = \frac{380}{1000 + \frac{5000}{3}} = 142,5 \text{ mA}.$$

Таким чином, ізоляція струмоведучих частин є одним із основних засобів захисту від ураження електричним струмом у трифазних мережах з ізолюваною нейтраллю. З огляду на те, що сільські електричні мережі характеризуються значною кількістю відгалужень, опори ізоляції фаз відносно землі з'єднані паралельно, внаслідок чого їх сумарний опір може істотно змінюватися. За таких умов однофазний дотик у мережах з ізолюваною нейтраллю є небезпечним навіть за справного стану ізоляції.

За значної протяжності електричної мережі ємність проводів відносно землі досягає помітних величин. У мережах з великою ємністю фаз загальний опір λ ізоляції фаз поступово зменшується, що підвищує небезпеку ураження електричним струмом.

$$\lambda = \frac{K_{i3} \cdot x_c}{K_{i3} + x_c}, \quad (5.4)$$

де: $x_c = \frac{1}{\omega \cdot c}$ - ємнісний чинник самого опору фази;

$\omega = 2\pi f$ - значення для кругової частоти змінного струму;

f - значення частоти змінного струму, Гц.

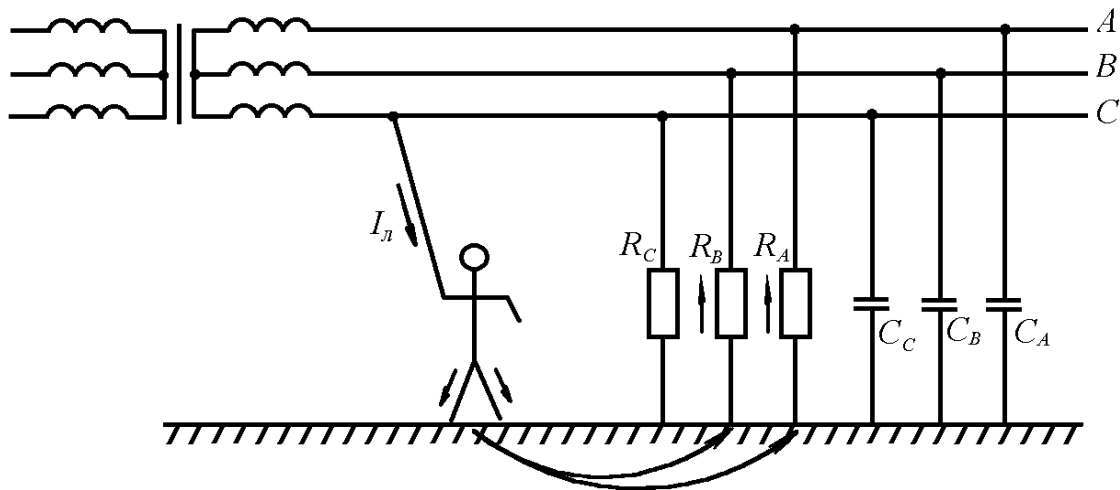


Рис. 5.1 Схема впливу електричної мережі

Найбільш небезпечною ситуацією в мережах з ізолюованою нейтраллю є замикання одного з фазних проводів на землю. У такому разі сила струму, що протікає через тіло людини, визначається відповідним розрахунковим виразом:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{K_{\text{люд}}} = \frac{380}{1000} = 380 \text{ mA}.$$

Наприклад, виникає ситуація, коли працівник ніби доторкується до двох фаз. Відповідно, тоді сила струму буде небезпечна для життя. Працівник доторкнувшись до однієї фази, що показано на рисунку 5.2, буде підключений між цією фазою та землею. В такому випадку він потрапляє під діючу фазну напругу U_{ϕ} .

Сила струму, яка проходить крізь тіло працівника, буде розрахована за наступним виразом:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{K_{\text{люд}} + K_{\text{вз}} + K_n + K_o} \quad (5.5)$$

де: U_{ϕ} - значення фазної напруги у діючій мережі, В;

$K_{\text{вз}}$, K_n , K_o - відповідно сформовані опори взуття працівника, потім підлоги та заземлення нейтралі, Ом.

Наприклад, якщо працівник стоїть безпосередньо на землі чи струмопровідній підлозі, а саме: металевий, залізобетонний або цегляний у підбитому цвяхами взутті, то тоді опорами $K_{\text{вз}}$ і K_n можна дещо знехтувати.

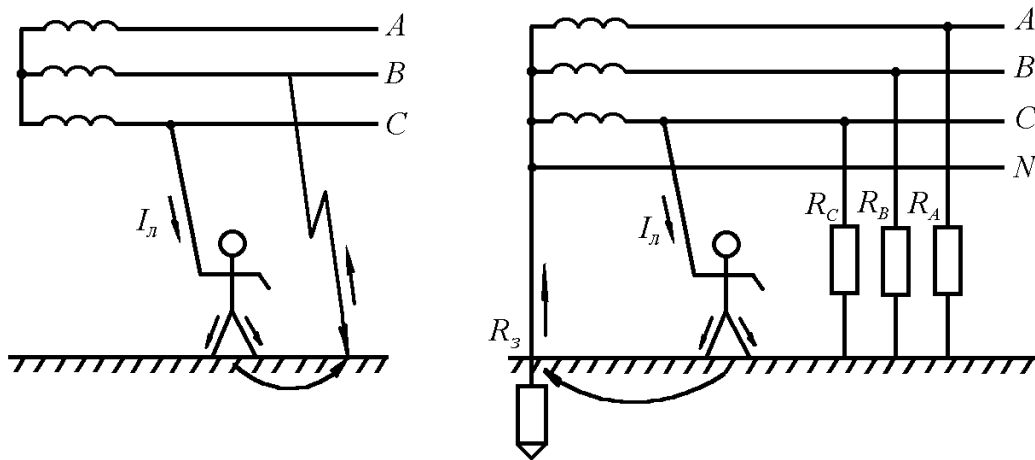


Рис. 5.2 Різні схеми впливу електричної мережі на роботу оператора

Так, самий опір заземлення нейтралі малий ($K_o = 40$ Ом) порівняно з опором тіла працівника, тому є можливість ним також знехтувати, отже тоді:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{K_{\text{люд}}} \quad (5.6)$$

І нарешті, коли ми приймаємо показник $K_{\text{люд}} = 1000$ Ом, сила струму, яка проходить крізь тіло працівника, буде становити наступне:

$$I_{\text{люд}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}.$$

Така величина струму є смертельно небезпечною. При цьому сила струму, що проходить через тіло людини, не залежить ані від опору ізоляції, ані від ємності фаз відносно землі. Істотно знизити дію цього струму можливо шляхом застосування ізолювальних підставок, гумових килимів, діелектричних калош та інших засобів електрозахисту.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень і аналітичного опрацювання методологічних засад розвитку сучасних технологій виробництва повнораціонних кормових сумішей та вдосконалення конструкцій змішувального обладнання в магістерській кваліфікаційній роботі запропоновано новий підхід до розв'язання відповідної наукової задачі.

В розділі «Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень» проведений аналіз різних змішувачів та аналіз техніко-економічних показників, який свідчить про те, що існуючі традиційні конструкції змішувачів не забезпечують належної якості приготування кормових сумішей для великої рогатої худоби. Виявлені недоліки під час змішування вологих кормів обмежують можливості їх використання у потокових лініях кормоцехів і негативно позначаються на ефективності застосування такого обладнання для виробництва збалансованих кормосумішей.

В науковій частині роботи на підставі виконаних досліджень обґрунтовано принципову конструктивно-технологічну схему ефективного оновального змішувача, призначеного для приготування збалансованих кормових сумішей для ВРХ. Змішувач виконано у вигляді горизонтально орієнтованого циліндричного корпусу з лопатевою мішалкою. Плоскі лопаті мають різний (лівий і правий) напрямок кута нахилу, при цьому їх робочі поверхні встановлені під кутом $45...50^\circ$ до осі валу та оснащені радіальними пальцями. Експериментальним шляхом ми встановили закономірність взаємодії і впливу основних керованих конструктивних і кінематичних параметрів при яких спостерігається підвищення показників якості до $V_0=95...98\%$ і зниження енергетичних витрат (15%) на приготування однорідної суміші при значеннях параметрів, а саме: ширина плоских лопатей $b = (0,4...0,45)R_n$; потім середня кутова швидкість обертання валу мішалки $\omega = 9,0...9,5 \text{ c}^{-1}$; далі кут нахилу лопатей до осі валу $\alpha = 45...50^\circ$ та тривалість часу змішування різних компонентів $t=6...8 \text{ хв}$.

В розділі «Практична реалізація результатів досліджень» ми провели технологічні, кінематичні та силові розрахунки.

У розділі «Охорона праці» опрацьовано комплекс інженерно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення електробезпеки та запобігання ураженню електричним струмом під час експлуатації потоково-технологічної лінії запарника-змішувача для приготування збалансованих кормових сумішей.

Доцільність даної дипломної роботи полягає в тому, що запропонована конструкція змішувача забезпечила однорідність кормової суміші на рівні $V_0 = 93...95 \%$, а також необхідну технологічну ефективність і надійність перебігу процесу за мінімальних енерговитрат, що відповідає чинним зоотехнічним вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механізація виробництва продукції тваринництва / І.І. Ревенко, Г.М. Кукта, В.М. Манько та ін.; За ред. І.І. Ревенка. — К.: Урожай, 1994. — 264 с.
2. Монтаж, експлуатація і ремонт машин у тваринництві / М.В. Брагінець, П.В. Педченко, І.Г. Резчик. — К.: Вища школа, 1991. — 359 с.
3. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва / За редакцією О.П. Скорика, О.І. Фісяченко. — Харків, ХДТУСГ, 2004 — 256 с.
4. Механізація тваринництва / І.І. Ревенко, В.С. Хмельовський, М.І. Ікальчик. — Ніжин, видавець ПП Лисенко М.М., 2015. — 328 с.
6. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва / О.А. Науменко, І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М. — Харків, ХНТУСГ, 2009. — 429 с.
7. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин: навчальний посібник/[Ібатуллін І.І., Мельник Ю.Ф., Отченашко В.В., та ін.]; під ред. академіка НААН України І.І. Ібатулліна. — К.: 2015. — 422 с.
8. Підпала Т.В. Скотарство і технологія виробництва молока та яловичини / Т.В. Підпала. — Миколаїв: Видавничий відділ МДАУ, 2008. — 369 с.
9. Технологія виробництва молока і яловичини : методичні рекомендації для виконання курсового проекту студентами напряму підготовки 6.090102 — ТВППТ / Т.В. Підпала, О.К. Цхвітава. — Миколаїв, МНАУ, 2014. — 61 с.
10. Механізація тваринницьких ферм / Б.П.Шабельник, М.М. Троянов, І.Г. Бойко та ін.; За ред. М.М. Троянова, - Харків, 2002. — 208 с.
11. Машини і обладнання для тваринництва : Електронний підручник / І.І. Ревенко, В.С. Хмельовський, О.О. Заболотько та ін. — Київ, ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти», 2019.

ДОДАТКИ