

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Охорони праці та біотехнічних систем
у тваринництві
(назва кафедри)

_____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Технологія приготування сухих розсипних комбікормів з
удосконаленням шнекового змішувача.»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

_____ К.Т.Н., доцент _____ Сівак І.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

_____ Д.Т.Н., професор _____ Ачкевич В.І.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

±

_____ Шляхтун Вячеслав Вікторович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Охорони праці та біотехнічних систем у
тваринництві

д.т.н., проф. _____ Хмельовський В.С.
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Шляхтун Вячеслав Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Технологія приготування сухих розсипних комбікормів з удосконаленням шнекового змішувача»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «27» березня 2025р. №484 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: _____ 13.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра: удосконалення шнекового змішувача

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ _____

1 Сучасний стан питання та завдання досліджень _____

2 Теоретичне обґрунтування роботи _____

3 Програма та методика досліджень _____

4 Результати досліджень _____

Висновки _____

Перелік графічного матеріалу: Загальний вигляд двовального лопатевого змішувача;

Розрахункова схема змішувача; Завдання експериментальних досліджень; Завод з

виробництва комбікормів; Схема розрахунку для визначення швидкості подачі з плоскими

лопатями в секції лиття; Експериментальна установка для вивчення подачі з бункера;

Загальний вигляд експериментальної установки шнекового змішувача з активним зворотним

каналом; Експериментальні значення швидкості подачі кормової суміші; Висновки.

Дата видачі завдання «01» грудня 2024 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____

(підпис)

Ачкевич В.І.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Шляхтун В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, таблиць, 15 посилань, та 32 рисунка.

Ключові слова: корм, худоба, технологія, шнек, лопать, змішувач, зворотний канал.

На основі розроблення класифікації кормозмішувачів та аналізу результатів наукових досліджень було розроблено нову конструкцію та нову технологічну схему циклічного шнекового змішувача для сухих сипких кормів з активним зворотним каналом. Змішувальним елементом є шнек, завантажувальна та розвантажувальна секції якого з'єднані зворотним каналом. У зворотному каналі встановлено додатковий шнек з валом, а вздовж валу передбачена секція впорскування з плоскою лопаткою. Навпроти лопаті у зворотному каналі розташований отвір у вигляді щілини шириною, що перевищує розмір характерної частинки подачі. До валу гвинта навпроти отвору зворотної канавки кріпиться плоске лезо.

Виробничі випробування шнекового змішувача для комбікормів з активним зворотним каналом показали, що, порівняно зі змішувачем КУ-100, показники якості технологічного процесу зросли, завдяки можливості організувати рух компонентів комбікормів усередині корпусу змішувача та частково висипати їх у зворотний канал.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРМІВ	7
1.1 Роль сухих кормових сумішах у раціонах тварин	7
1.2. Обґрунтування методів приготування сухих кормів на малих фермах	9
1.3. Огляд та аналіз конструкції змішувального пристрою	16
1.4 Аналітичні методи та критерії оцінки якості змішування	24
1.4.1. Методи аналізу якості комбікормових продуктів	25
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ ЗМІШУВАЧІВ З АКТИВНИМИ ЗВОРОТНИМИ КАНАЛАМИ	26
2.1. Фактори, що впливають на якість процесу та споживання енергії суміш	27
2.2. Опис конструктивно-технологічної схеми запропонованого шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу	28
2.3. Визначення корисного об'єму змішувача	30
2.3.1 Визначення продуктивності змішувача	32
3 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ШНЕКОВОМУ ЗМІШУВАЧІ АКТИВНИМ ЗВОРОТНИМ КАНАЛОМ	38
3.1 Цілі та завдання експериментальних досліджен	38
3.2. Дослідження подачі кормової суміші до змішувача	39
3.3 Дослідження подачі та потужності на шнековий привід	42
4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА З АКТИВНИМ ЗВОРОТНИМ КАНАЛОМ	45
4.1. Загальні положення	45
4.2. З'ясування фізико-механічних властивостей кормів	46
4.3. Результати дослідження подачі корму з бункера	46
4.4. Результати дослідження живлення та живлення гвинтового приводу	47
ВИСНОВОКИ	52
Список використаних джерел	

Вступ

Актуальність теми.

Реалізація цільової науково-технічної програми розвитку сільського господарства на 2019-2025 роки та Державної програми розвитку сільського господарства і регулювання ринків сільськогосподарської продукції, сировини та продовольства на 2019-2020 роки дозволила зберегти позитивну динаміку розвитку сільського господарства [1]. Водночас, країна має бути повністю забезпечена власним виробництвом молока [2].

В останні роки середньорічні темпи зростання сільськогосподарського виробництва становлять близько 4%, тоді як у тваринництві деякі показники не були досягнуті. Однією з причин недосягнення цих показників є використання застарілих технологій [3].

Велика рогата худоба виробляє молоко 98% і близько 40% м'яса. Подальший розвиток скотарства залежить від необхідності виробництва високоякісних продуктів харчування (молока, яловичини, телятини) за рахунок більш повного використання потенціалу тварин. Цього можна досягти лише шляхом організації повноцінної та раціональної годівлі тварин.

Неоптимальне співвідношення поживних речовин у раціоні тварин за елементами живлення призводить до зниження середньодобових приростів на 30 - 35% та збільшення витрат кормів на одиницю продукції на 50%. Збалансовані за поживністю корми можуть підвищити продуктивність тварин на 15 - 20% порівняно з використанням комбикормів, які є співставними за загальною поживністю.[4]

Концентрати складають до 35% складу кормів для великої рогатої худоби. Отже, показники вартості та якості комбикормів відіграють важливу роль у кінцевих результатах виробництва тваринницької продукції.[5]

Кормова промисловість є важливим сектором. У розвинених країнах виробництво комбикормів здійснюється як великими промисловими компаніями, так і мережею менших компаній, які здатні успішно конкурувати з ними, зокрема завдяки своїй близькості до джерел сировини та споживачів, тобто тваринницьких ферм.

Фермерські підприємства та індивідуальні підприємці виробляють до 7% товарного молока, із середнім показником товарності 70%. Матеріальна база цих господарств знаходиться на низькому рівні. Виробництво молока великими виробниками недостатнє для задоволення потреб переробної промисловості.

Більшість виробленого обладнання для подрібнення кормів було розроблено та орієнтовано на великі промислові підприємства. Конструкція окремих машин та обладнання передбачає багаторівневу компоновку та не може бути ефективно використана на малих фермах.[6]

За сучасних умов економічно доцільно виробляти комбикорм якомога ближче до споживача. У цьому випадку необхідно використовувати низькоенергетичні технологічні засоби, місцеву сировину та всі технологічні методи, що сприяють високому продуктивному ефекту виробленого комбикорму.

Як правило, використання застарілих технологій та обладнання призводить до збільшення питомих витрат на енергію, капітальних вкладень та собівартості виробництва. Однак використання високоякісного, але водночас дорожчого комбікорму виправдане, оскільки це зменшує витрати на одиницю продукції та підвищує продуктивність тварин. Питання зниження енергоємності у виробництві високоякісних повнооборотних комбікормів є фактором, що визначає загальну ефективність виробництва комбікормів.

Якість суміші залежить від точності дозування компонентів та рівномірності їх розподілу в об'ємі суміші. Регулярно працюючий змішувач забезпечує належну якість суміші, особливо при дозуванні за вагою, але демонструє високе енергоспоживання. Безперервно працюючі змішувачі споживають значно менше енергії, але рецепти змішування дотримуються не завжди. Перехід на новий рецепт може бути складним. Найбільшою популярністю наразі користуються змішувачі періодичної дії.

Тому вдосконалення та розробка конструкції змішувального агрегату, визначення раціональних параметрів та режимів роботи шнекових змішувальних робочих органів, що забезпечують зниження питомих енергетичних витрат, зберігаючи при цьому показники якості згідно зі стандартами, є актуальним народногосподарським завданням.

1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРМІВ

1.1 Роль сухих кормових сумішей у раціонах тварин

Склад повноцінного раціону тварини базується на знанні потреб тварини в різних поживних речовинах, вітамінах і мінералах, а також цінності певних кормових інгредієнтів у харчуванні тварин. Нестача загальної енергії в раціоні знижує темпи росту молодняку та продуктивність дорослих тварин. Стандартизоване годування дозволяє раціонально використовувати корми, максимізувати продуктивність тварин, одночасно знижуючи витрати кормів на одиницю продукції.

При поганому годуванні тварин знижується продуктивність і плодючість, а у молодняку спостерігається уповільнення росту. Перегодовування може призвести до ожиріння у тварин та зниження репродуктивної функції.

Стандартизоване годування вимагає, щоб суха речовина в раціонах різних тварин містила суворо визначену кількість енергії, поживних речовин та біологічно активних речовин.

Тому найважливішим фактором підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції на фермах є створення збалансованої кормової бази, яка відповідає сучасним науковим та практичним вимогам до виробництва тваринницької продукції. Необхідно враховувати, що ефективне використання кормів значною мірою залежить від якості кормів, приготованих для годівлі тварин.

Не всі види кормів містять усі поживні речовини, вітаміни та мікроелементи, необхідні тваринам, і їхня здатність засвоювати ці поживні речовини не завжди реалізується.

Якщо раціон тварини містить неоптимальні умови живлення, середньодобовий приріст ваги тварини може зменшитися на 30–35%, а витрати корму на одиницю продукції можуть зрости на 50%.

У середньому, витрати кормів на отримання одного літра молока перевищують витрати на оплату праці в 1,5 раза, яловичини в 2,5 раза, свиней в 2,0 раза, курей в 1,3 раза. Високоякісний корм забезпечує організм тварини поживними речовинами в необхідних кількостях та пропорціях і підвищує продуктивність тварин на 15 - 20% порівняно з використанням кормової суміші з такою ж загальною поживною цінністю.

Збалансована кормова суміш, що містить лише білок, вуглеводи та жир, може підвищити продуктивність тварин на 10 - 12%, а за умови включення біологічно активних речовин на 25 - 50%. [7]

Концентрати складають до 35% складу кормів для великої рогатої худоби та до 90–95% для свиней та птиці відповідно. Отже, показники вартості та якості кормових сумішей відіграють важливу роль у кінцевих результатах виробництва тваринницької продукції. [8]

Найпоширенішим кормом, який дають худобі, є комбікорм. Кормові суміші - це однорідна суміш різних кормових продуктів та мікроелементів, сформована за науково доведеними формулами та подрібнена до потрібного розміру, що забезпечує тварині збалансоване годування всіма елементами. Комбіновані корми дозволяють оптимізувати раціон за енергією, білком, макро- та мікроелементами, вітамінами та іншими біологічно активними речовинами відповідно до стандартів кормів для тварин.

Види виробництва комбікормів:

Брикетування. Найзручніший для транспортування. Брикети з деревного вугілля не займають багато місця та не псуються під час транспортування. Вони зберігаються протягом тривалого часу.

Гранульований. Перевагою є те, що гранули не потребують додаткової обробки, що економить трудові ресурси під час годування. Корисний для набору ваги.

Розсипний. Головна його перевага тривалий термін зберігання. Однак його важко транспортувати та зберігати. З часом природне розшарування порошкових інгредієнтів може призвести до отруєння у тварин.

Зернові. Його виготовляють шляхом подрібнення гранул корму на частинки певного розміру. На відміну від сипких зерен, з якими їх часто плутають, крупу не тільки мелють та змішують, але й обробляють термічно. Коли тварина це з'їдає, вона отримує всі інгредієнти з корму.

Залежно від призначення розрізняють повноцінні корми, концентровані корми, збалансовані кормові добавки (білок, вітаміни, мінерали) та премікси.

До наповнювачів належать соєвий або соняшниковий шрот, кормові дріжджі, пшеничні висівки, овес, ячмінь та дрібно-змелене зерно пшениці. Для

преміксів, що виробляються спеціалізованими компаніями, стандартне дозування становить 10 кг на тонну комбікорму (1% за вагою).

Щоб забезпечити коровам достатнє харчування, щоденний раціон корму містить концентрати або повноцінні корми. За нормального надою це співвідношення становить 300–350 г/кг молока, але за високого надою це співвідношення зростає до 500 г/кг молока.

Склад комбікорму може містити до 14 основних інгредієнтів та до 50 інших інгредієнтів, включаючи мікроелементи. Залежно від індивідуальних потреб тварин різних видів та віку, ці інгредієнти слід належним чином подрібнювати та рівномірно змішувати у певних вагових пропорціях на основі науково обґрунтованих рецептів.

Кожен вид і сорт потребує певної кількості поживних речовин у різні вікові періоди. Формули кормів розробляються для конкретних видів, порід та віку. Склад корму вибирається виходячи зі способу годування. Зазвичай план поділяють на три частини: основна кормова їжа (

Ви можете приймати будь-яку дозу в будь-який час. Збалансоване годування (поповнення дефіциту білка та інших поживних речовин). Концентроване годування (як доповнення до основного корму).

Стиснення вимагає використання додаткового енергоємного обладнання та додаткових витрат на гранулювання або пресування кормової суміші. Тому грануляція можлива лише для відносно великомасштабного виробництва. Невеликим фермам зазвичай не потрібно зберігати готовий корм протягом тривалого часу або транспортувати його на великі відстані.[9]

Якщо комбікорм має запах, нетиповий для цих продуктів, наприклад, затхлий, пліснявий або гнильний, або якщо є грудочки чи видима пліснява, він вважається неякісним та непридатним для використання.

Недотримання умов транспортування та зберігання і правил щодо готових кормових сумішей, особливо збагачених різними мікродобавками, є одним із важливих факторів, що призводять до їх забруднення мікотоксинами.

З огляду на вищезазначене, для підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції на дрібнотоварних фермах фермерам необхідно самостійно виробляти та використовувати сухі корми на вагу, враховуючи місцеві кормові ресурси.

1.2 Обґрунтування методів приготування сухих кормів на малих фермах

При виробництві комбікормів на великому спеціалізованому заводі значну частину витрат складають транспортні витрати на сировину та готову продукцію. В результаті, виробництво кормів зосереджено у фермерських господарствах.

Через різну кількість корму для різних вікових груп тварин, необхідно часто та швидко перебудовувати технічні приміщення для виробництва кормів.

Ефективне використання сировини, доступної на фермі (зернові та олійні культури, білкові компоненти та мінеральні компоненти), має бути збалансоване

збагачувальними добавками. Фермерським господарствам часто доводиться змішувати ліки з кормами.[10]

На внутрішньому підприємстві можливість швидко контролювати якість кормів під час технологічних операцій та можливість вносити необхідні корективи в роботу технологічного обладнання в процесі приготування кормів впливають на відповідність кормів технічним вимогам тваринництва.

Важливим фактором, що визначає собівартість готових кормів, є використання обладнання, яке відповідає вимогам щодо ресурсозберігаючих заходів при забезпеченні необхідної якості продукції. На фермах комбікорм виробляють за спрощеною технологічною схемою, яка передбачає видалення сторонніх речовин із зернової сировини шліфування, дозування та змішування окремих інгредієнтів згідно з обраним рецептом зберігання.

Будівництво комбікормового заводу здійснювалося фахівцями багатьох навчальних та науково-дослідних установ.[11]

Група науковців розробили технологічні схеми та пристрої, що дозволяють здійснювати потокове виробництво, максимально короткі технологічні цикли, широку механізацію та автоматизацію процесів, сучасний контроль якості на ключових виробничих ділянках (прийом сировини, подрібнення, дозування, змішування тощо), облік сировини та продукції, ефективне використання технічного, енергетичного та іншого обладнання, управління операціями, охорону навколишнього середовища, належні умови праці та дотримання вимог пожежної безпеки.

Кормові заводи класифікуються за їх призначенням (рис. 1.1). За цільовим показником локально (для окремих ферм) та між фермами. Продуктивність призводить до зростання складності та спеціалізації.

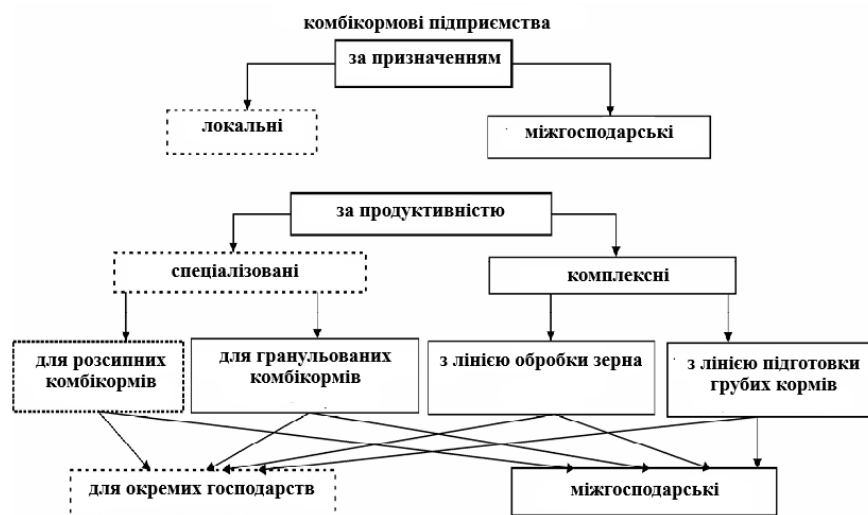


Рис.1 - Система класифікації для комбікормових заводів

Комплексні комбікормові підприємства призначені для виробництва:

Концентровані корми на вагу та гранульовані з лініями післязбиральної обробки та зберігання фуражного зерна. Переробна потужність становить 2,0–

4,0 тонни/годину для індивідуальних фермерських господарств та 2,0–16,0 тонни/годину для компаній, що співпрацюють між фермами.

Брикетованих та гранульованих комбікормів-концентратів та підготовки грубих кормів продуктивністю від 1,5 до 9,0 т/год.

Кормовий завод, що спеціалізується на виробництві кормів:

Повноцінні та концентровані корми насипом та гранульованим способом з продуктивністю від 0,5 до 4,0 т/год для індивідуальних ферм та від 2,0 до 12,0 т/год для міжфермерських компаній.

Брикети та гранульовані корми продуктивністю від 1,5 до 6,0 т/год - для регіональних та міжгосподарських підприємств.

Приготування сухої кормової суміші безпосередньо на фермі вимагає двох кроків (дозування, змішування) або трьох кроків (дозування, подрібнення, змішування).[12]

Високоякісну кормову суміш можна отримати, реалізуючи один із наступних технологічних процесів:

- кожен вид сировини готується окремо та дозується на завершальному етапі (одноступеневе подрібнення - одноступеневе дозування).

- суміш інгредієнтів готується шляхом послідовного дозування у два етапи.

- спільна обробка сировини, включаючи подрібнення, підготовку інших інгредієнтів методом одноступеневого дозування (багатокомпонентне подрібнення - одноступеневе дозування)

- дозування всіх видів сировини та їх спільна обробка (одноступеневе дозування - багатокомпонентне подрібнення).

Пропонуються такі технологічні лінії: підготовка зернової сировини; видалення плівкових культур; підготовка мінеральної сировини; виробництво армуючих добавок; приготування та введення рідких компонентів. Дозування та змішування, об'ємне та вагове дозування з похибкою 3% гранулювання.

Трифункціональний агрегат BLOUNT від DANNENBERGGMBH включає закриту молоткову дробарку, шнековий дозувальний блок та шнекові конвеєри для розвантаження та змішування (рис. 1.2). Текстура готової суміші досягається калібруванням шнекових дозаторів.

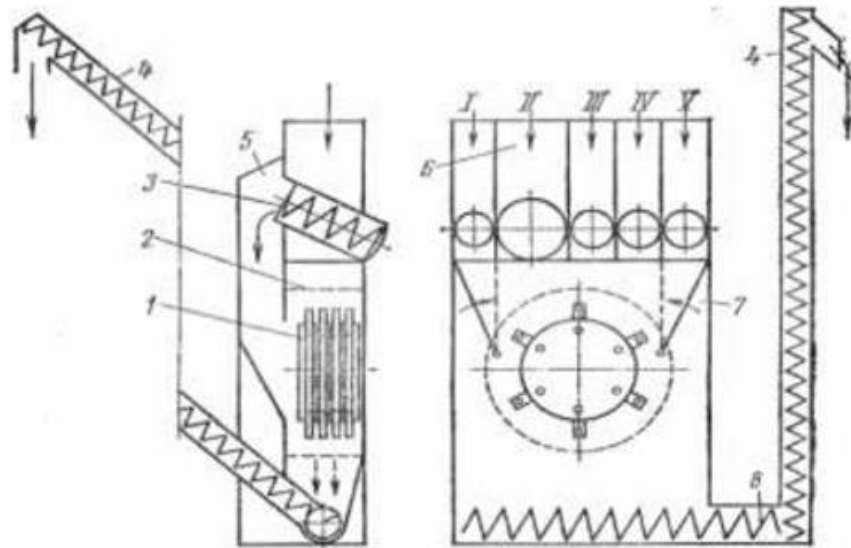


Рисунок 1.2 - Схема комбікормового млина BLOUNT

1 - ротор молоткової дробарки; 2 - сітчастий фільтр; 3 - блок дозувальних шнекових конвеєрів; 4, 8 - розвантажувальні конвеєри; 5 - кришка; 6 - контейнер для передозування; 7 - перепускні клапани

Як приклад можна також згадати комплекси для приготування повноцінних кормових сумішей з 4-6 зернових компонентів з додаванням готових білково-вітамінних комплексів: комплекси КПК та ККУ; лінія приготування кормової суміші 23 (ЛПК-2); м'ясорубка (Agrex Mix); установки для приготування кормових сумішей (Р6-УПК; Р6-УПК; УК-2; УМК-Ф-2) та ряд інших. Комплекси серії КПК (продуктивність від 0,28 до 4,6 т/год) та серії ККУ (продуктивність від 1,7 до 4,6 т/год) включають дробарку ДКР, змішувач ССК, шнековий конвеєр ТС, сепаратор СА для попередньої обробки зерна та електронний ваговий пристрій.[14]

Підготовка комбінованого набору (КВО) оцінюється в діапазоні від 1350 до 5500. голів КРС являє собою багатокомпонентну суміш для двох груп по дві людини з лінійним обладнанням. Дозування компонентів, що виробляються пневматичною машиною. Згідно з попереднім варіантом, рецепт повинен зберігатися в пам'яті пристрою Agrodoz-123 після закінчення терміну його дії. Попередні варіанти виготовляються щомісяця. Дві деталі подаються до труби перед мастильною машиною або скутером. Після розкрою, після того, як частина комбінованої сумки буде зшита разом із застібкою, 5–7 хвилин.[15]

Лінійка кормів ЛПК-2 рекомендована для годівлі тварин у тваринницькій галузі компаніями, що виробляють багатокомпонентні корми на основі трикомпонентної зелені та складної зелені. 15%, з вживання теплих мінерально-вітамінних добавок. Лінія з'єднує газонокосарку, змішувач, вагу, бульдозер, снігорозвантажувач.

Кормоприготувальний блок (Р6-УПК) призначений для виробництва сухих сипких кормів різних рецептур на основі всіх видів зернових культур, включаючи олійні, а також лушпиння зернових культур, гранул, борошна, дрібнозернистої макухи та інших сипких кормових та харчових матеріалів,

біовітамінних та мінеральних добавок на тваринницьких фермах. Установа виготовляється у двох варіантах: Р6 УПК.00 та Р6-УПК.01, і являє собою комплекс малогабаритного дробильного, змішувального, транспортувального та фільтрувального обладнання.

Кормовиробничий блок (УК-2) (рис. 1.3) призначений для приготування об'ємних кормів у власних умовах ферми з власного фуражного зерна та закуплених білково-вітамінних та мінеральних добавок. Він оснащений вимірювальним механізмом, подрібнює та змішує інгредієнти корму. Ним керує одна людина.

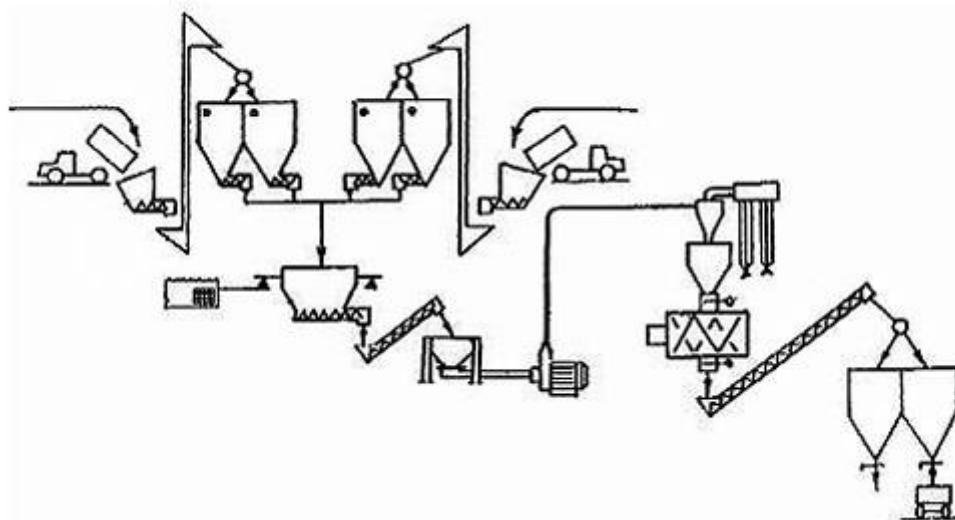


Рис. 1.3 – Завод з виробництва комбікормів (УК-2)

Конструкція млина (Agrex Mix) дозволяє йому молоти та змішувати багато різних видів зерна, за умови, що вміст вологи не перевищує 15%. Залежно від розміру дробильної сітки, можна отримати корм різного розміру. Вони виготовляються як у стаціонарному, так і в мобільному варіантах.

Розташовуючи виробничі майданчики комбікормів ближче до районів постачання та споживання сировини, можна повніше та раціональніше використовувати наявну в господарстві сировину, а також зменшити витрати на транспортування сировини та готової продукції. Виробництво такого типу кормової суміші є недорогим і усуває необхідність придбання дорогого обладнання для комбікормового заводу. Залежно від потреб вашого конкретного фермерського господарства, ви також можете використовувати обладнання та техніку, наявні на вашій фермі. Використання кормів власного виробництва обіцяє скоротити собівартість продукції тваринництва на 15–20%.

Існуючі приміщення на фермах часто не відповідають санітарним та безпековим вимогам, а будівництво нових будівель вимагає часу та значних фінансових витрат. Тому раціонально розташовувати модулі в контейнерах (рис. 1.4), розміри яких дозволяють транспортувати їх автомобільним транспортом. Це дозволяє виконувати всі роботи зі складання, налаштування та регулювання обладнання на виробничому об'єкті.

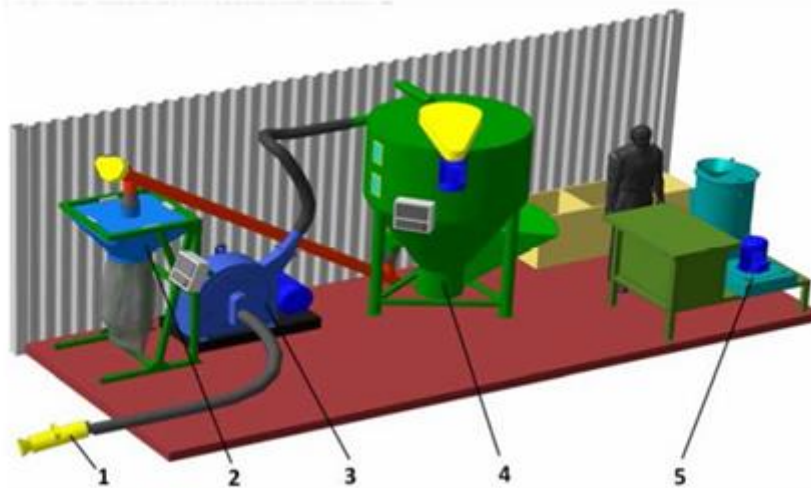


Рис.1.4 - Модуль виробництва комбікорму, змонтований у контейнері
 1 - пневморукав для завантаження зернових компонентів; 2 - затарювач готової продукції АЗК-2; 3 - дробарка ДМ-3; 4 - змішувач УСК-1,5; 5 - змішувач преміксів СВ-40

Блочно-модульне формування структури комбікормових цехів забезпечує можливість її адаптивної трансформації до індивідуальних особливостей сільгоспвиробника. Це блоки подрібнення, змішування, вагового дозування, зберігання та видачі готового корму, що утворюють основний модуль. Додатково до складу підприємства можуть включатися блоки введення рідких добавок та знезараження, НВЧ-обробки, експандування та гранулювання, що утворюють додаткові модулі. Одним із прикладів є розроблена в ДНУ СКНДІ МЕСГ внутрішньогосподарська технологічна лінія виробництва комбікормів (рис. 1.5). Технічна характеристика внутрішньогосподарської технологічної лінії приготування комбікормів: продуктивність - 1 т/год; встановлена потужність - 15 кВт; однорідність внесення компонентів - 95 %; доза внесення рідких добавок 3...6 %; енергоємність процесу - 12,1 кВт·год/т.

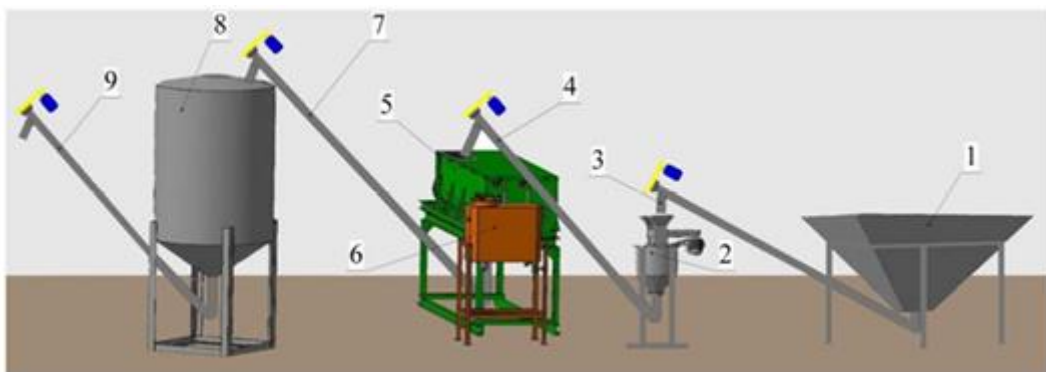


Рис. 1.5 – Загальний вигляд технологічної лінії приготування кормової суміші на фермі

1 – бункер з розвантажувальним шнеком АР100.1; 2 – вертикальна дробарка ВД-1; 3 – Т-подібний з'єднувач для гвинта; 4 – шнек для подачі подрібнених компонентів; 5 – змішувач компонентів корму СК-15Н; 6 – пристрій для подачі рідких добавок; 7 – шнек для дозування змішаних

компонентів; 8 – тара для готової продукції; 9 – Шнек для дозування готової кормової суміші

У процесах приготування кормів, оснащених додатковим блоком розширення, мелясу можна вводити через модуль введення рідких та жирових інгредієнтів (рис. 1.6). Використання мобільних багатофункціональних змішувачів та розподільників кормів зменшує споживання енергії на 20% та витрати на оплату праці на 30%. Однак вирішальну роль у цьому варіанті відіграє вартість закупленого господарством повноцінного корму, виготовленого на спеціалізованих комбикормових заводах з покупних інгредієнтів.

Використання мобільного комбикормового агрегату виключає капітальні вкладення в стаціонарний комбикормовий комплекс, знижуючи витрати на організацію кормовиробництва на фермі в 3,5 - 4,0 рази.

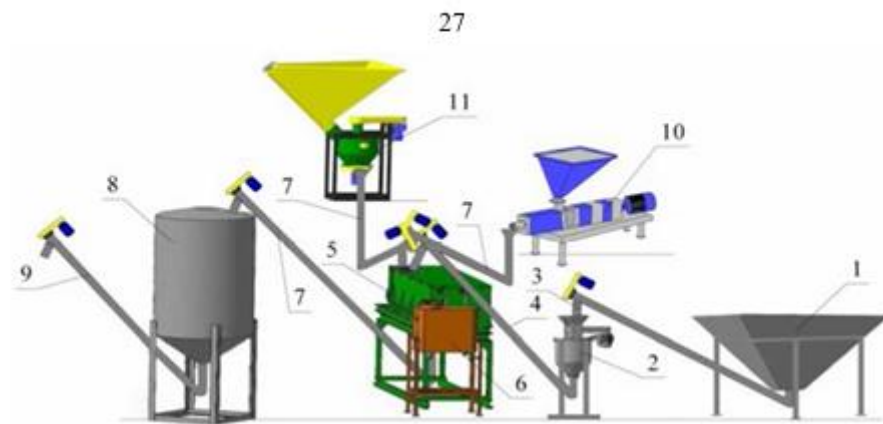


Рис. 1.6 – Технологічна лінія для приготування кормових сумішей з додатковим блоком розширення

1 – бункер для завантаження; 2 – вертикальна дробарка ВД-1; 3 – Т-подібний з'єднувач для гвинтів. 4 – Ходовий гвинт для подачі подрібнених деталей. 5 – кормозмішувач СК-15Н; 6 – обладнання для подачі рідких добавок; 7 – шнек для подачі кормової суміші; 8 – бункер для готової продукції; 9 – шнек для вивантаження готового корму; 10 – Прес-експандер ЕК-75 11 – Подрібнювач зеленої маси ІЗК-4



Рис. 1.7 - Мобільний комбикормовий завод АКМ-3М

1 - змішувач; 2 - шасі; 3 - розвантажувальне вікно з демпфером та ковзною шайбою; 4 - привід змішувача; 5 - зернодробарка; 6 - протиупор; 7 - клинопасова передача; 8 - карданний вал; 9 - всмоктувальний шланг; 10 - вихідна лінія

У всіх розглянутих технологічних системах однією з основних операцій у процесі виробництва високоякісних повноцінних кормових сумішей є змішування компонентів, що визначає якість готового корму на завершальному етапі, а саме однорідність кормової суміші.

1.3 Огляд та аналіз конструкції змішувального пристрою

Щоб визначити напрямок удосконалення існуючих кормозмішувачів, розглянемо класифікацію та проведемо аналіз найбільш типових конструкцій таких машин.

За показниками, що мають найбільший вплив на якість суміші та енергоємність процесу, зручно класифікувати їх за такими основними характеристиками (рис. 1.8): вид подачі. Кінематичне положення; властивості сумішей. Конструктивні особливості; конструкція бункера. Залежно від кількості змішувальних валів; місце розташування робочого підрозділу. Методом змішування; за типом руху змішаних компонентів; за типом робочих елементів.

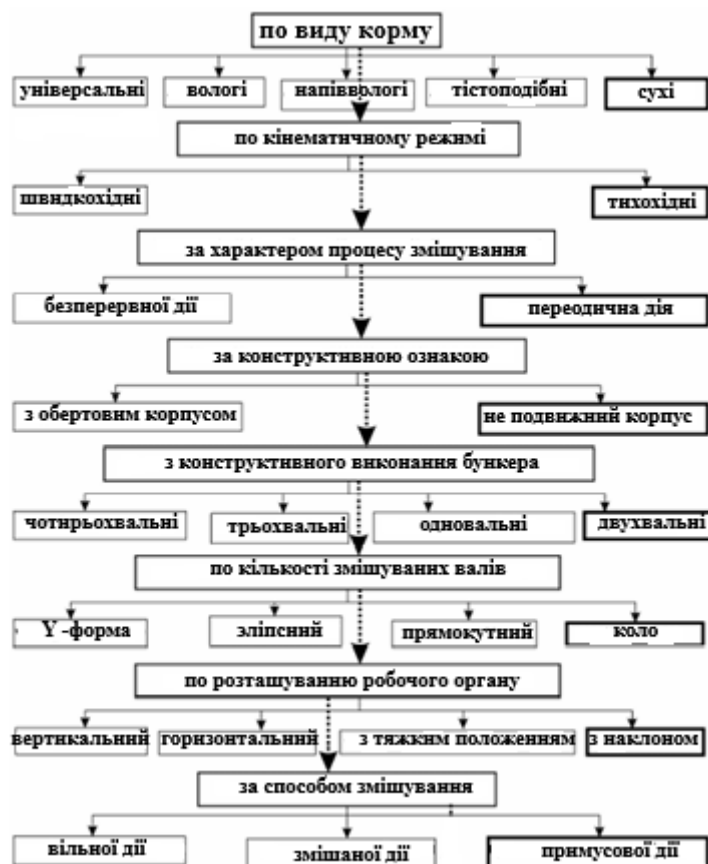


Рис.1.8 - Класифікація кормозмішувачів

Залежно від способу введення в експлуатацію, змішувачі поділяються на стаціонарні та мобільні. Змішувачі першої групи зазвичай встановлюються на комбикормовому заводі, тоді як змішувачі другої групи монтуються на мобільних установках і можуть здійснювати змішування поза комбикормовим заводом відповідно до потреб споживачів. Залежно від виду корму підходять найтехнологічніші змішувачі для сухих кормових сумішей.

Залежно від кінематичного режиму роботи змішувачі поділяються на тихохідні ($k < 30$) та високошвидкісні ($k > 30$) залежно від частоти обертання робочих органів. Час приготування у високошвидкісному міксері трохи коротший, ніж у низькошвидкісному, але питома витрата енергії на одиницю поданої страви вища. Високошвидкісні змішувачі підходять не для всіх видів кормів. Крім того, високі частоти обертання робочих частин призводять до подальшого подрібнення інгредієнтів корму, що є неприйнятним з огляду на технічні вимоги тваринництва.

Вертикальне розташування шнекових валів (один або два шнеки) та зазор між шнеками та стінками змішувальної камери дозволяють кормовій масі, піднятій шнеками, вільно ковзати по стінках лійкоподібної змішувальної камери та дбайливо оброблятися, не пошкоджуючи структуру компонентів корму.

Вертикальні змішувачі прості за конструкцією, мають низькі витрати на обслуговування та короткий термін окупності, що робить їх перспективним варіантом для фермерів. Одним із типів змішувачів з вертикальним приводом є планетарний змішувач. Відмінною особливістю планетарних змішувачів є різноманітність варіантів конструкції робочих елементів (лопатеї, шнеків, шнеків тощо) (рис. 1.9) та їх взаємозамінність.

Переваги: Висока продуктивність; високоякісна суміш. Здатність змішувати матеріали з різними фізичними властивостями. Недоліки: Високі витрати на енергоносії. Складні конструкції планетарних передач призводять до тривалого часу розвантаження. Змішувачі з горизонтально розташованими елементами забезпечують високу якість змішування та низьке питома споживання енергії. Конструкції змішувачів з горизонтально розташованими шнеками (2-4 шнеки) призводять до переміщення корму вздовж дна змішувальної камери, що збільшує знос стінок змішувальної камери, збільшує ризик пошкодження змішувальної системи сторонніми предметами та сильно впливає на структуру компонентів корму, що призводить до ущільнення корму вздовж дна змішувальної камери та утворення грудок.



Рис. 1.9 - Варіанти конструктивного виконання робочих частин планетарного змішувача

До переваг змішувачів з похилими робочими органами можна віднести кращу організацію циркуляції кормових інгредієнтів шляхом усунення застійних зон, а також ущільнення та поділ корму. Згідно зі способом змішування, змішування компонентів у змішувачі може здійснюватися вільно (під дією сили тяжіння), примусово та шляхом змішування. Під впливом сили тяжіння компоненти змішуються завдяки впливу сили тяжіння та їх взаємодії з різними твердими структурними елементами. Відомі конструкції таких машин включають: пральну машину. бункер; шок-спрей; вібраційна гравітація. До переваг гравітаційних змішувачів можна віднести простоту та надійність обладнання, відсутність рухомих змішувальних виконавчих механізмів та низьке питоме енергоспоживання. Їхніми недоліками є погана якість змішування, необхідність точного дозування через погану вирівнювальну здатність, можливість змішування матеріалів та хороша або в деяких випадках середня плинність.

Для покращення продуктивності гравітаційного змішувача встановлено 34 рухомих робочих елементи, які надають вібрацію інгредієнтам корму для забезпечення додаткового примусового перемішування. Вібрація усуває ризик злипання інгредієнтів, що змішуються, під час їх переміщення між секціями, покращує якість суміші (можна досягти однорідності суміші до 97%, зменшує кут нахилу внутрішніх робочих поверхонь змішувача до горизонталі та значно зменшує габарити змішувача.

Залежно від просторового розташування робочих елементів, шнекові змішувачі поділяються на вертикальні, похилі та горизонтальні типи. Характеристики, що визначають метод змішування, безпосередньо впливають на результат обробки кормової суміші та термін служби самого змішувача. Під час змішування пропареної подрібненої соломи з концентратом найефективнішими робочими елементами є ті, що мають вузькі двошнекові стрічки, розташовані таким чином, що під час обертання вони викликають зворотний потік продукту.

Змішувачі (рис. 1.10) можна використовувати для змішування як сухих інгредієнтів, так і рідин.



Рис. 1.10 - Стрічковий змішувач

Змішувач СГК-1М оснащений одним валом. На корпусі є три па трубки: для подачі меляси; для приєднання до аспіраційної системи; для подачі компонентів. На лопатовому валу розташовані вісім спіральних лопатей, з яких чотири мають праву навивку, а всередині них - ліву; таким чином, утворюються дві секції - одна повернута відносно іншої на 90 градусів. Для більш інтенсивного перемішування під кутом до осі валу встановлено 12 лопаток. Таким чином, компоненти корму змішуються спіральними лопатями валу, при цьому зовнішні витки переміщують їх уздовж ванни в одному напрямку, а внутрішні - у зворотному. Готова суміш вивантажується через розвантажувальний люк протягом 1 хвилини. Змішувачі зі шнековими робочими органами: стрічкові спіралі (одинарні, подвійні, потрійні); лопатеві (лопатки різної форми: прямо вугільні, трапецеїдальні, сегментні та ін); гвинтові (з активним або пасивним каналом зворотного ходу) - мають такі переваги: низька питома витрата електроенергії; висока продуктивність на одиницю поза площею; невелика матеріаломісткість; високий ступінь змішування компонентів; короткий час циклу змішування; можливе введення рідких компонентів.

Для отримання високоякісної суміші на валу встановлюють спіральні лопаті з ліво- та правостороннім обмотуванням з поворотом одна відносно одної на 90° або 120° (рис. 1.11). Форсунки доступні для подачі рідких компонентів від 1–3% до 10%. Швидке розвантаження продукту досягається за допомогою випускного клапана типу «Бомболук». Ступінь гетерогенності отриманої суміші становить менше 5%, а час змішування коливається від 10–60 секунд до 1,5–2 хвилин.

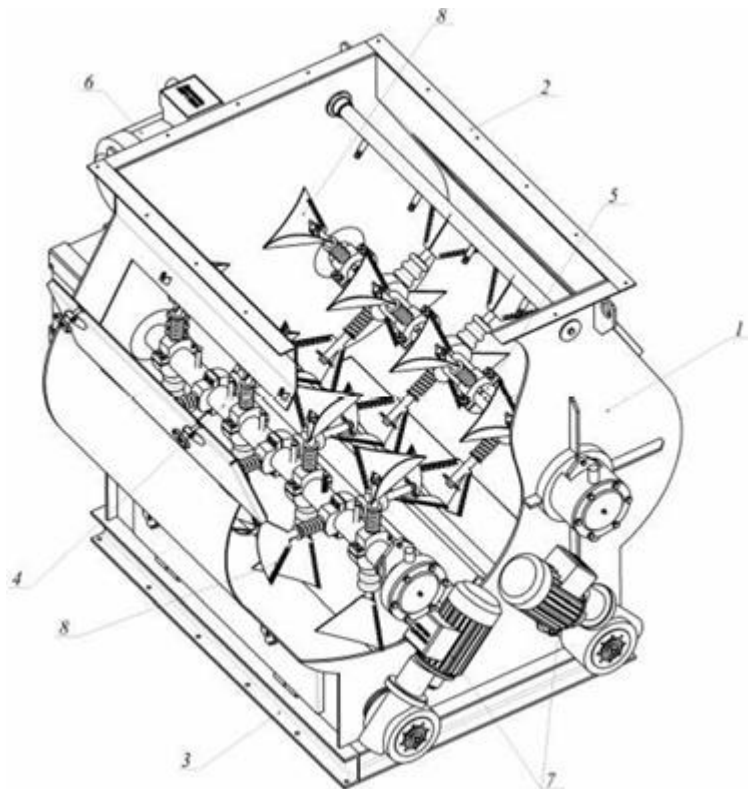


Рис. 1.11 - Загальний вигляд двовального лопатевого змішувача

1 - змішувальна ванна; 2 - завантажувальний патрубок; 3 - вихідна труба; 4, 5 - вал; 6 - привід вала ножа; 7 - вивантаження готової суміші; 8 - лопатка

Змішувальний вузол (рис. 1.12) складається з системи додавання наповнювачів (основних компонентів) до суміші, що виготовляється, системи додавання добавок та системи змішування компонентів суміші.

Поетапне змішування забезпечує покращення показників якості корму та зниження енерговитрат. попереднє змішування потоку сировини з високою пористістю (забезпечення взаємопроникнення та попереднього змішування частинок з низькими енергетичними витратами та високою рівномірністю подачі сировини), наявність двох секцій композитного робочого елемента (у двох секціях спіральні лопаті змішувача гомогенізують вміст компонентів в об'ємі змішування, а потім під час транспортування та розвантаження надлишок гомогенізованої суміші переміщується в двонаправленому спіральному шнековому конвеєрі).

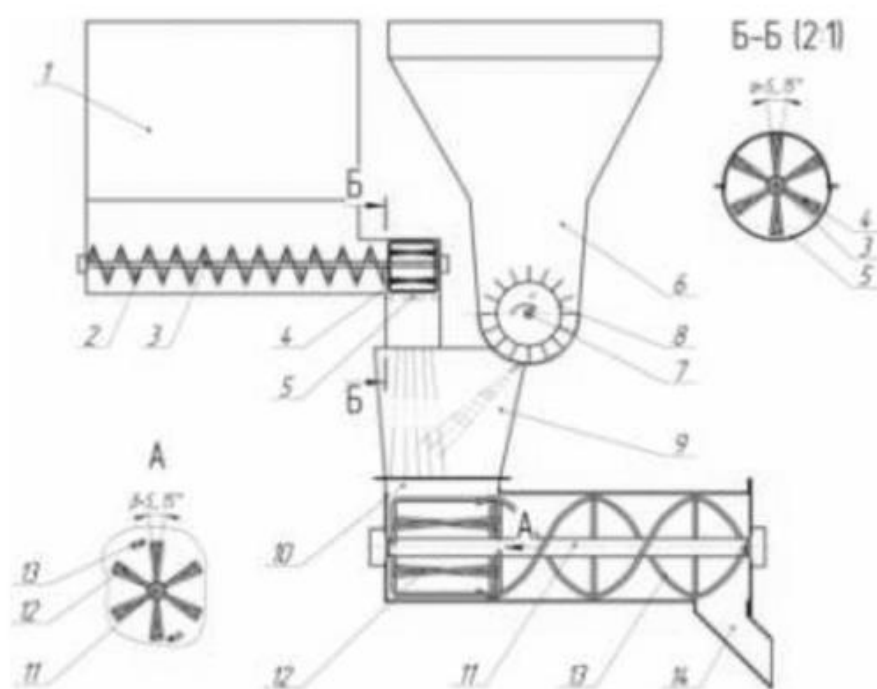


Рис. 1.12 - Змішувальний вузол

1 - бункер для завантаження; 2 - вільний спіральний гвинт; 3 - вал; 4 - мішалка зі спіральними лопатями; 5 - сітка; 6 - дозувальна лійка; 7 - вал; 8 - лопатевий барабан; 9 - камера попереднього змішування; 10 - головна змішувальна камера; 11 - карданний вал; 12 - змішувач зі спіральними лопатями. 13 - Двонаправлений спіральний шнековий конвеєр. 14 - Вихідний жолоб

Радіальні робочі елементи лопатей змішувача безперервної дії показані на рисунку 1.12. Змінюючи кут, можна змінювати кількість продукту в змішувачі та напрямок його руху. Кутові лопаті (рис. 1.13, г) дозволяють одночасно переміщувати продукт у протилежних напрямках.

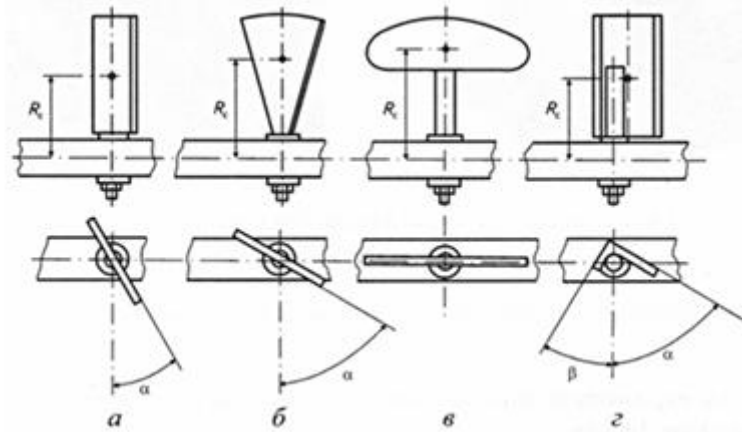


Рис. 1.13 - Радіальні робочі органи з лопатями

Змішувач для отримання багатокомпонентних сипучих сумішей з еластичними виконавчими елементами, як показано на рисунку 1.14, що включало подрібнення компонентів. У розробленому змішувачі використання високоеластичних робочих елементів збільшує інтенсивність перемішування компонентів завдяки періодичній вібрації робочої поверхні та зменшує питому силу перемішування. У вертикальних змішувачах (рис. 1.14), крім основного шнека, використовується змішувальний спіральний елемент, що має форму багатодротяної пружини (2-6 тонких дротів). Мета полягає в тому, щоб змішати подрібнений основний інгредієнт з преміксом. Процес змішування вихідних інгредієнтів відбувається в умовах постійно змінних факторів, які впливають на якість готового продукту.

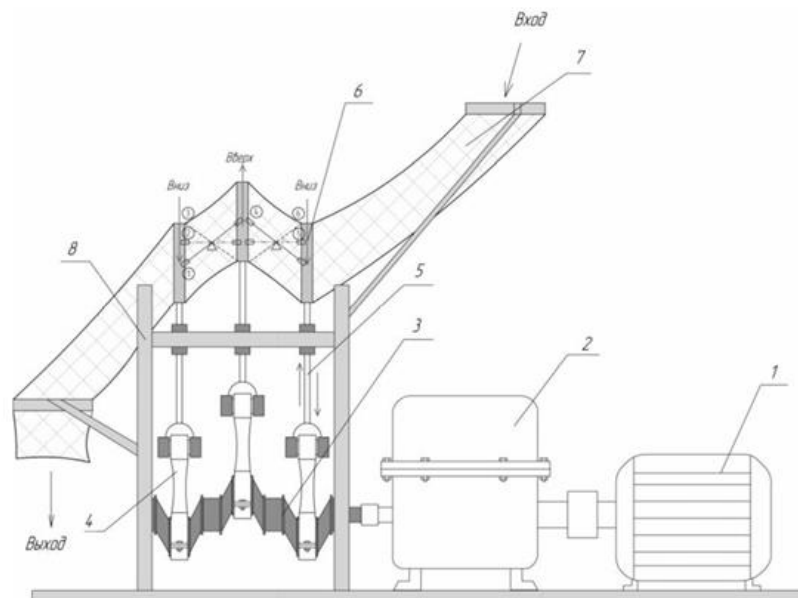


Рис. 1.14 - Принципова схема змішувача для багатокомпонентних сипучих сумішей, оснащеного жабрами

- 1 - електродвигун; 2 - коробка передач; 3 - колінчастий вал; 4 - шатун; 5 - шпindelь 6 - шар вапна; 7 - змішувальна камера; 8 - рама

Під час роботи відкритого гравітаційного змішувача лопаті 5 проходять через застійну зону навколо центру циркуляції, розбиваючи застійну зону та

переміщуючи матеріал в активну зону змішування (рис. 1.15), запобігаючи сегрегації. Це інтенсифікує процес та покращує однорідність отриманої суміші.

До недоліків змішувача можна віднести трудомістке виготовлення ремня, який має 47 лопатей, та його низьку стійкість до знакозмінних навантажень, яким він піддається під час роботи змішувача.

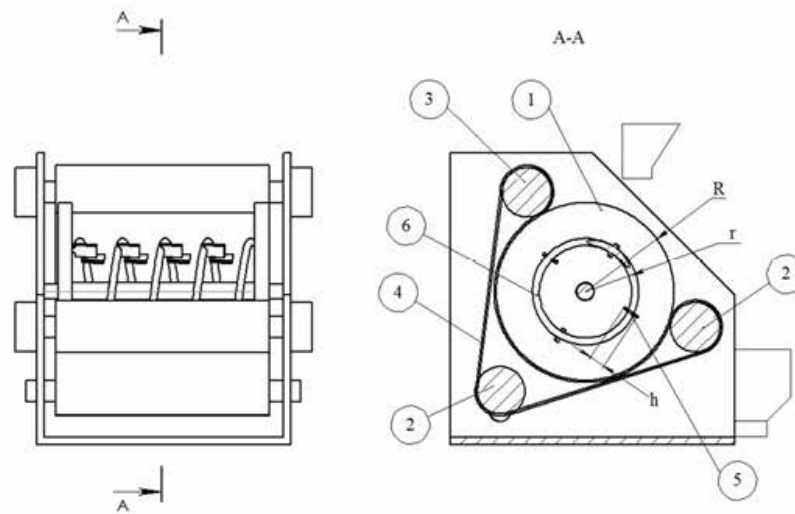


Рис. 1.15 - Принципова схема змішувача з допоміжними лопатями
1 - диски; 2 - натяжний ролик; 3 - приводний ролик; 4 - нескінченний ремінь; 5 - листок; 6 - спіральна стрічка

Рівномірність змішування у шнековому змішувачі (рис. 1.16) покращується завдяки внутрішньому розміщенню змішувального шнека з 49 лопатями між витками та нерухомого шнека в обертовому корпусі, а також можливості регулювання кута нахилу завантажувального бункера.

Нерухомий шнек розташований всередині порожнистого вала змішувального шнека та також функціонує як корпус для нерухомого шнека.

Витки змішувального шнека складаються з двох ременів, розміщених один над одним, один з яких закріплений таким чином, щоб він міг рухатися вздовж іншого ремня, і жорстко з'єднаний з порожнистим валом змішувального шнека, що змінює зазор між внутрішнім краєм витка та зовнішньою поверхнею порожнистого вала.

Лезо складається з двох частин, одна з яких прикріплена до іншої та жорстко з'єднана порожнистим валом, який можна переміщувати вздовж валу для регулювання площі леза.

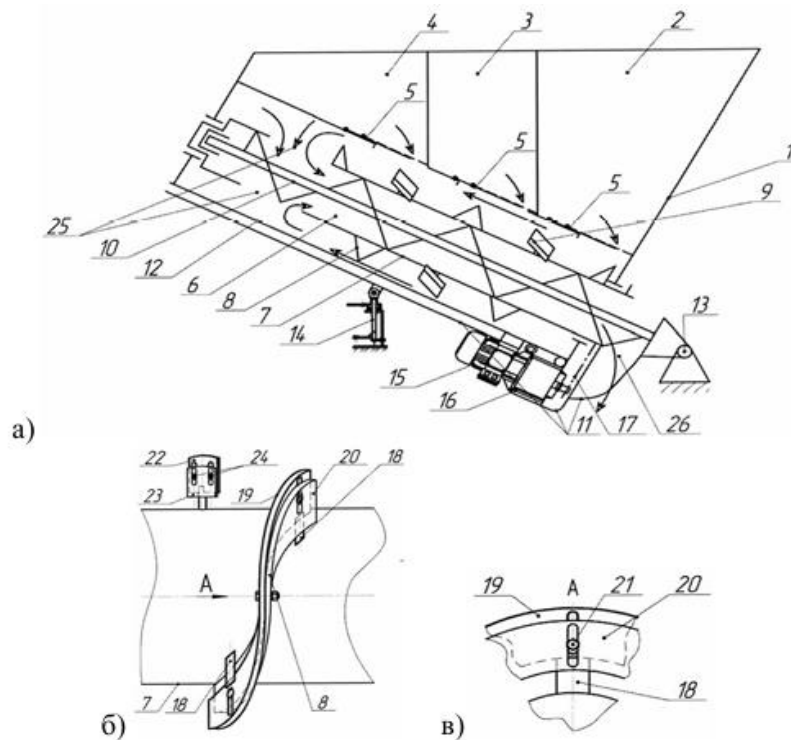


Рис. 1.16 - Кормозмішувач зі шнеком

1 - бункер; 2, 3, 4 - секції; 5 - демпфер; 6 - змішувальний шнек; 7 - порожнистий вал; 8 - орбіта; 9 - лопатка; 10 - кріпильний гвинт. 11 – рама; 12 - корпус; 13 - шарнір; 14 - механізм зміни кута нахилу. 15 - електродвигун; 16 - коробка передач; 17 - ланцюговий редуктор; 18 - підставка; 19 - нерухомий ремінь; 20 - рухомий пояс. 21, 24 - гвинти; 22 - рухома частина порожнистого вала; 23 - нерухома частина порожнистого вала. 25 - вікно завантаження. 26 - вікно розвантаження

Змішувальний пристрій (рис. 1.17) працює наступним чином. Матеріальна маса, що складається з різних компонентів, подається через завантажувальну трубу та потрапляє в порожнину між твердим тілом та обертовою чашкою, де вона починає перемішуватися під час проходження через неї завдяки обертанню лопатей шнека.

У цьому випадку легші частини піднімаються, а важчі опускаються. А коли масу переносять з однієї склянки в іншу, вона повертається на 180 градусів, так що внутрішній шар тепер знаходиться зовні, а зовнішній шар - всередині. У цьому випадку важча фаза зверху поступово опускається, тоді як легша фаза знизу піднімається. Таким чином, висока якість змішування досягається не лише за рахунок скручування маси під час її переміщення від склянки до склянки внаслідок обертання маси, але й за рахунок канавок, спрямованих у напрямку, протилежному обертанню лопаті шнека. Жом, вже добре перемішаний, потрапляє в останню стаціонарну склянку та шнеком конвеєра направляється на подальшу роботу.

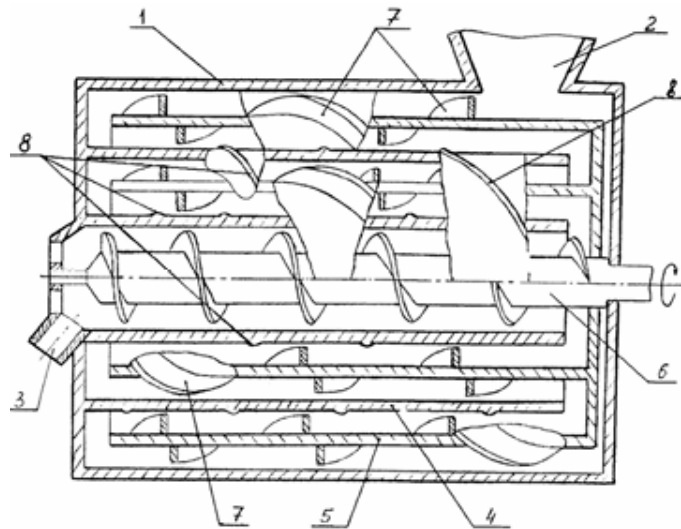


Рис. 1.17 - Змішувальний пристрій

1 - основний корпус; 2 - вантажний люк; 3 - вихідна труба; 4 - рухоме скло. 5 - суцільне скло. 6 - свердло для гвинта 7 - лопаті пропелера. 8 - версія

Основним недоліком цього пристрою є обертання маси на лопатях шнека, що призводить до погіршення якості змішування наповнених, консистентних мас через відсутність пристрою, який «гальмує» масу та виключає її обертання на лопатях шнека, а також складність конструкції.[26]

Проаналізувавши змішувачі різних типів та конструкцій, ми визначили їхні основні недоліки: низька продуктивність, складність апаратних рішень для основних процесів, що вимагають високої кваліфікації оператора, високе енергоспоживання змішувального агрегату та ймовірність зупинки при потраплянні сторонніх предметів; відсутність контролю над параметрами змішування не дозволяє оптимально керувати процесом; складність процесу розвантаження готової продукції та його автоматизації; ручне керування вузлами.

Враховуючи вищезазначену інформацію, доцільно використовувати наступну конструкцію змішувача як модель для дослідження та подальшої розробки: за типом корму – для сухого корму; за кінематичним режимом - низька швидкість; за характером суміші – періодичної дії; за конструкцією - з міцним корпусом; за проектом бункера – круглий; за кількістю змішувальних осей – двовісні; за розташуванням робочого елемента - похилі; методом змішування – примусова дія; за типом руху змішаних компонентів – циркуляція; за типом робочого елемента – гвинтовий з активним зворотним каналом.

1.4 Аналітичні методи та критерії оцінки якості змішування

Для визначення параметрів процесу змішування та перевірки достовірності математичних моделей необхідна експериментальна інформація про стан сировинної суміші в різні моменти часу. Процес змішування полягає в диспергуванні частинок одного компонента в об'ємі частинок одного або кількох

інших компонентів. У випадку двокомпонентної суміші, коли частинка компонента

A під впливом виконавчого елемента проникає в об'єм компонента *B*, локальне значення концентрації в об'ємі суміші набуде певного значення. Якщо вибрати невеликі об'єми, рівномірно або хаотично розподілені в об'ємі суміші, та стежити за ходом процесу змішування, то через межі цих об'ємів проходитиме різна кількість частинок компонента *A* та компонента *B*, і таким чином їх співвідношення (концентрація) змінюватиметься. Загальна оцінка стану складу в межах цих контрольних об'ємів характеризує якість суміші.

1.4.1 Методи аналізу якості комбікормових продуктів

Різноманітність існуючих методів оцінки якості суміші залежить від характеристик матеріалів, що змішуються, та рівня точності, необхідного для цієї оцінки. Під час аналізу суміші зазвичай визначаються такі показники: загальний стан кормової суміші, її однорідність та гранулометричний склад. У хімічній інженерії традиційно перевіряють суміш на основі зовнішнього вигляду, щільності матеріалу та результатів фізичних та механічних випробувань зразків. Менш поширеними методами є аналіз за допомогою мікрофотографій та методи електронно-променевої мікрозондової томографії. Зазначені методи контролю якості здійснюються лише після розвантаження готової суміші, вимагають відбору проб та тривалих періодів випробувань, а результати можуть мати кілька побічних ефектів, таких як взаємна дифузія компонентів та розшарування через вплив різниці в щільності. Ці методи контролю не забезпечують точного розуміння процесу або швидкого контролю.

Для безпосереднього контролю якості суміші в зоні безперервного потоку під час приготування часто використовується деякий фізичний параметр, який реагує на зміни поверхні розділу фаз, який потім перетворюється на електричну величину та реєструється. Такі електричні методи вимірювання властивостей матеріалів є дуже ефективними.

Також популярні такі методи перевірки однорідності сумішей: електропровідність, забарвлення, хімічні реакції, мічені атоми, теплові та оптичні методи.

Метод електропровідності базується на визначенні зміни електропровідності компонентів під час процесу змішування. Якість суміші оцінюється на основі різниці електропровідності в точках вимірювання. Цей метод дає дуже точні результати, але сфера його застосування обмежена контролем процесу змішування вологих матеріалів.

Метод хімічної реакції базується на тому, що досліджуваний матеріал або втрачає, або набуває кольору при додаванні хімічного реагенту. Часто цей метод використовує реакцію нейтралізації у присутності фенолфталеїну.

Метод підходить для лабораторних досліджень, наприклад, для виявлення застійних зон у змішувачі, для чого корпус роблять прозорим.

Цікавим є те, як створити умови, що дозволяють оцінити час, необхідний для отримання високоякісної суміші, тим самим оцінюючи ефективність

змішувального обладнання. Для цього нам потрібні дані про споживання електроенергії.

Методи вимірювання потужності, що споживається під час змішування, можна розділити на електричні, механічні та калориметричні методи.

Електричний метод передбачає вимірювання активної потужності електродвигуна, що приводить у рух змішувальний пристрій, встановлений у певній машині. Активна потужність зазвичай розраховується за різницею потужності двигуна зі змішувальним пристроєм і без нього при однаковій швидкості обертання. Електричні методи вимірювання не забезпечують високої точності та повинні використовуватися, коли механічні втрати малі порівняно з потужністю пристрою.

Механічні методи передбачають вимірювання крутного моменту за допомогою динамометрів різних конструкцій. У цьому випадку визначається або балансний момент під час роботи змішувача, або вторинний момент на статорі електродвигуна. Додатково використовуються динамометри з магнітоелектрооптичними вимірювачами або крутний момент вимірюється безпосередньо на валу змішувача. Калориметрія безпосередньо вимірює енергію, що витрачається під час змішування. Для цього використовується калориметрична посудина. При постійній швидкості обертання змішувача визначається температура суміші, яка збільшується приблизно пропорційно часу змішування.

Відбір проб, поширений метод визначення якості суміші, проводиться двома способами: квадрантним методом та точковим методом відбору проб. За першим методом (квадрантний метод) весь корм, приготований у змішувачі, виноситься на деко та розкладається не дуже товстим рівним шаром, потім вся поверхня суміші поділяється на квадрати, з яких відбираються проби згідно із затвердженими методами відбору проб.

Другий метод – це вибір точок, який виглядає так: у корпусі випробуваного змішувача свердяться отвори, які під час роботи закриваються заглушками та виступами. Спеціальні пробовідбірники вставляються у змішувач через ці отвори після зупинки змішувача. Кількість отворів у корпусі змішувача розрахована таким чином, щоб дозволяти брати проби практично з будь-якої області робочого об'єму.

У цьому випадку зразки відбираються так само, як і при квадрантному методі, відповідно до прийнятого методу відбору проб. Конструкція пробовідбірника повинна, по-перше, забезпечувати легке введення без порушення структури суміші подачі, а по-друге, забезпечувати одночасний відбір кількох зразків з різних місць у змішувачі та запобігати їх змішуванню один з одним.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ ЗМІШУВАЧІВ З АКТИВНИМИ ЗВОРОТНИМИ КАНАЛАМИ.

Теоретичне дослідження спрямоване на виявлення впливу конструктивних, технологічних та експлуатаційних параметрів змішувального органу як основного конструктивного елемента запропонованого змішувача, а також на виявлення загальних закономірностей технологічних процесів, що забезпечують якісне змішування корму.

2.1 Фактори, що впливають на якість процесу та споживання енергії суміш

На процес змішування впливають численні фактори, але зазвичай їх можна класифікувати на такі групи (рис. 2.1):

1) Фізичні, механічні та реологічні властивості змішаних компонентів: вологість, гранулометричний склад компонентів. Коефіцієнт внутрішнього та зовнішнього тертя. Співвідношення інгредієнтів, що змішуються. Насипна щільність корму тощо.

2) Конструктивно-технічні параметри: робочий об'єм камери. коефіцієнт наповнення тіла; співвідношення діаметрів гвинтів; висота гвинта; швидкість обертання, час перемішування, кут нахилу корпусу тощо.

3) Робочі параметри: швидкість обертання, час перемішування, кут нахилу корпусу. Характеристики інгредієнтів, що змішуються, мають першочергове значення, потім визначається метод змішування, і, нарешті, конструкція та режим роботи змішувача.

Отримана математична модель, що враховує складність процесу, багатокомпонентний характер суміші та якість готової сировини, дозволяє розробити оптимальні та раціональні конструктивні, технологічні та експлуатаційні параметри шнекового змішувача з активним зворотним каналом для приготування сухої сипкої сировини.

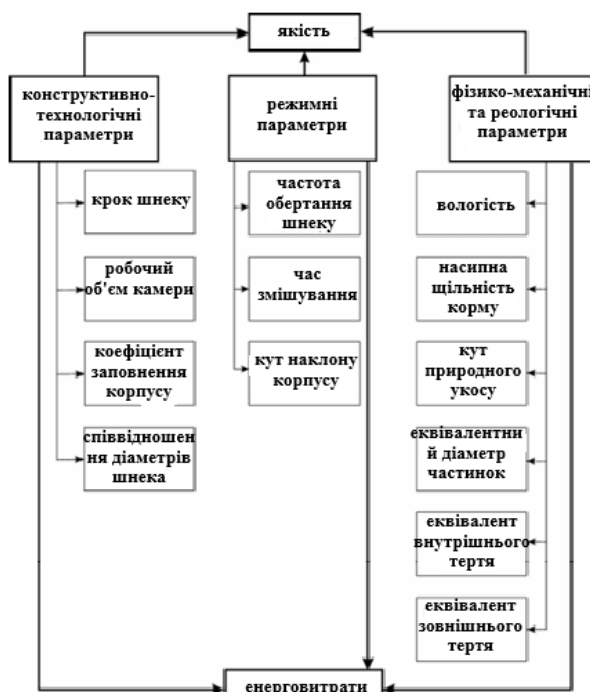


Рис. 2.1 - Структурна схема моделі

Ефективна робота змішувача визначається вимогами:

$$\{Q_{\phi} \geq Q_{mp} \cdot v_{\phi} \leq [v_{зоот}], N_{уд} \rightarrow \min \quad (2.1)$$

де Q_{ϕ} і Q_{mp} - фактична та технологічна (визначувана умовами технологічного процесу) продуктивність змішувача відповідно, кг/с;
 $v_{\phi} \leq [v_{зоот}]$ - фактична та зоотехнічна неоднорідність суміші, %;
 $N_{уд}$ - питомі енерговитрати на процес змішування, Вт·с/кг.

2.2 Опис конструктивно-технологічної схеми пропонованого шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу

Конструктивно-технологічна схема кормозмішувача базується на таких рішеннях: - Змішувальний елемент, яким є шнек. Його секції завантаження та розвантаження з'єднані зворотним каналом.

У зворотному каналі встановлено додатковий шнек з валом, а вздовж валу розташована секція впорскування з плоскою лопаткою. Навпроти лопаті у зворотному каналі розташований отвір у вигляді щілини шириною, що перевищує розмір характерної частинки подачі.

До шнекового валу навпроти отвору зворотного каналу кріпиться плоска лопатка. - На кінці шнека лопаті закріплені тангенціально, нахилені до руху подачі. - Механізм зміни кута нахилу тіла відносно горизонту. Були запропоновані низькошвидкісні змішувачі з активними зворотними каналами.

Схема цього змішувача показана на рисунку 2.2. Змішувач складається з корпусу 1, заливної лійки 19, крапельної лійки 8 та випускного колектора 11, що закривається клапаном 12, шнека 4, заливна та випускна частини 10 якого з'єднані зі зворотним каналом 5 всередині шнека 4 (рис. 2.2, а, б, в). Канал 5 всередині у зворотному напрямку встановлений додатковий шнек 6 з валом 18, що має ділянку 2 пересипання з плоскими лопатками 3 вздовж валу 18.

Навпроти лопаток 3 в каналі 5 зворотного ходу є вікна 13 у вигляді щілин шириною, що перевищує розмір характерних частинок корми 20.

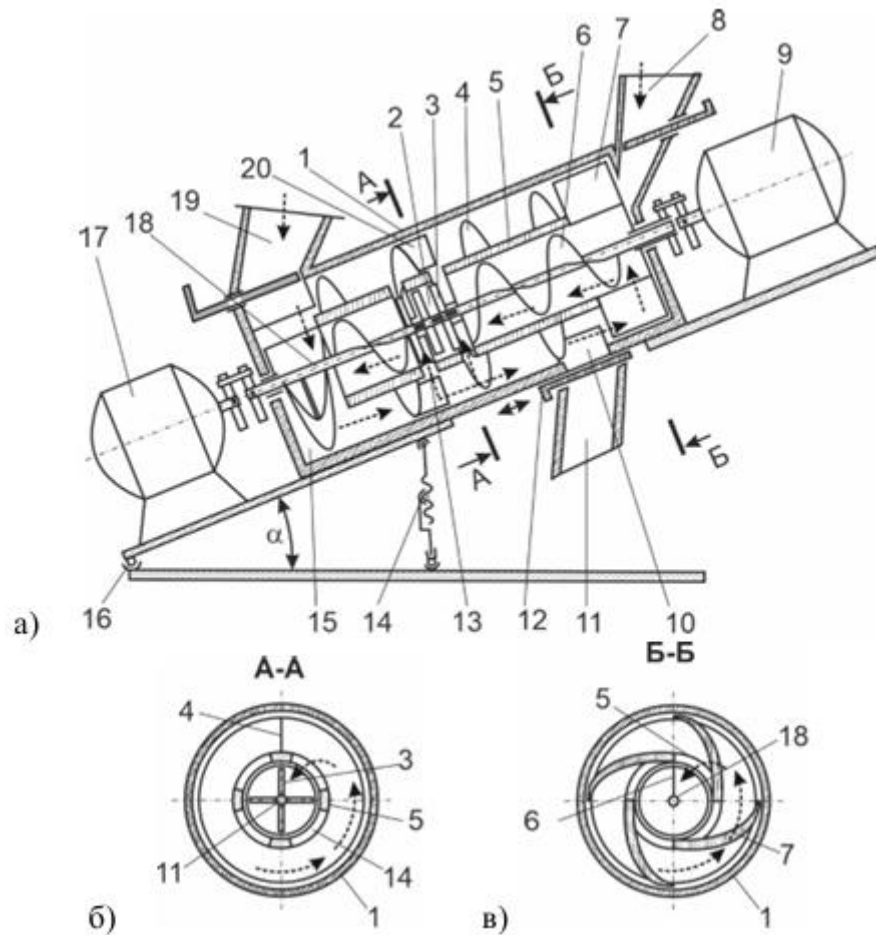


Рис. 2.2 - Шнековий змішувач з активним каналом зворотного ходу.

а - схема; б - розріз А-А; - розріз Б-Б 1 - корпус; 2 - ділянка пересипання; 3 – лопатки; 4 - шнек; 5 - канал зворотного ходу; 6 - додатковий шнек; 7 - тангенційні лопатки; 8 - бункер добавок; 9, 17 - приводи; 10 - вивантажувальна частина шнека; 11 - вивантажувальний патрубкок; 12 - заслінка; 13 - вікна; 14 - гвинтовий механізм; 15 - завантажувальна частина шнека; 16 - вісь; 18 - вал; 19 - завантажувальний бункер; 20 - плоскі лопатки

На кінці гвинта 4 закріплені тангенціальні лопаті 7 з нахилом у бік руху подачі. Механізм зміни кута α нахилу корпусу 1 к відносно горизонту включає корпус 1, встановлений на валу 16, та гвинтовий механізм 14.

Для відведення подачі є відгалужувальний трубопровід 11, що закривається клапаном 12. Гвинт 4 та додатковий гвинт 6 мають приводи 9 та 17 відповідно. Технологічний процес роботи змішувача здійснюється наступним чином: Інгрєдєнти, що підлягають змішуванню, надходять у секцію заповнення 15 корпусу 1 через багатоступеневу заливну лійку 19.

Одночасно добавка подається з лійки 8 у канал 5, а потім додатковим шнеком 6 у секцію заповнення 15 корпусу 1. Шнек 4 переміщує інгрєдєнти, що підлягають змішуванню, з секції заповнення 15 вгору вздовж похилого корпусу 1 до секції впорскування. Тут частина подачі перехоплюється плоскою лопаткою 20, а частина направляється через вікно 13 у зворотний канал 5 та надсилається до додаткового шнека 6. Також частина подачі переміщується шнеком 4 вгору вздовж похилого корпусу до розвантажувальної секції 10.

У цьому випадку компоненти суміші змішуються під впливом намотування гвинта. На виході 10 шнека 4 суміш подачі піднімається тангенціальними лопатями 7 та впорскується у зворотний канал 5. Щоб запобігти відриву у разі мимовільного розсипання корму, значення кута нахилу α корпусу 1 встановлюється гвинтовим механізмом 14 меншим за кут тертя корму. Передача компонентів подачі у зворотному каналі 5 з секції розвантаження 10 до секції завантаження 15 відбувається під впливом обертання додаткового шнека 6 та зворотного каналу 5.

У секції 2 процесу впорскування дія обертових лопатей 3 призводить до змішування сировини з сировиною, що рухається від шнека 4 через вікно 13 та через зворотний канал 5 до секції заповнення 15 шнека 4. Таким чином утворюються два кругові та пересічні потоки подачі. Перший потік йде від секції заповнення шнека 4 до вікна 13, через вікно 13 до секції 2 процесу впорскування додаткового шнека 6, а потім додатковим шнеком до секції заповнення шнека 4.

Другий потік йде від секції завантаження шнека 4 до тангенціальної лопаті 7, під впливом якого корм засипається в додатковий шнек 6, а потім виходить з додаткового шнека до завантажувальної частини гвинта 4.

Після завершення змішування відкривається клапан 12 і готова суміш виводиться через трубу 11.

В результаті прийнятої конструкції змішувача час змішування скорочується за рахунок розділення та об'єднання потоків суміші сировини в секції впорскування під час їх руху по зворотному каналу завдяки дії додаткових лопатей шнека та вікна у зворотному каналі, а також завдяки зближенню потоків матеріалу під час руху суміші сировини з секції завантаження до секції розвантаження завдяки дії шнека.

2.3. Визначення корисного об'єму змішувача

Розмір та об'єм змішувача є важливими параметрами, що визначають його питому витрату металу, а також впливають на кількість сировини в змішувачі.

Корисний об'єм змішувача розраховується за виразом:

$$V_{nc} = V_{обц} - V_{po} = V_{обц} (1 - \varphi_{po}) \quad (2.2)$$

де V_{nc} - корисний об'єм змішувача, м³;

$V_{обц}$ - обсяг змішувача, м³;

V_{po} - обсяг, зайнятий робочими органами, м³;

φ_{po} - коефіцієнт, що враховує обсяг робочих органів.

Звідти:

$$\varphi_{po} = 1 - \frac{V_{nc}}{V_{обц}}. \quad (2.3)$$

Загальний обсяг змішувача, згідно з описом становить:

$$V_{обц} = \frac{\pi}{4} [(D_1 + \delta_1)^2] \cdot L_{CM} \quad (2.4)$$

де - D_1 зовнішній діаметр шнека, м;

δ_1 - зазор між гвинтом шнека та корпусом змішувача, м; Зазор між шнеком і корпусом зазвичай становить $(2...3) \cdot 10^{-3}$ м;

L_{CM} - довжина камери змішувача, м.

Обсяг робочих органів змішувача:

$$V_{po} = V_{ш} + V_{тан} + V_{дон1} + V_{диф} + V_{дон2} + V_{вал1} + V_{вал2} \quad (2.5)$$

де $V_{ш}$ - обсяг, який займає шнекова навивка, м³;

$V_{тан}$ - об'єм, зайнятий тангенціальними лопатками, м³;

$V_{дон1}$ - обсяг, який займає гвинтова навивка додаткового шнека на ділянці L_{14} м³;

$V_{диф}$ - об'єм, зайнятий лопатками, м³;

$V_{дон2}$ - обсяг, що займає гвинтова навивка додаткового шнека на ділянці L_{12} , м³;

$V_{вал1}$ - об'єм, що займає вал шнека, м³;

$V_{вал2}$ - об'єм, що займає вал додаткового шнека, м³.

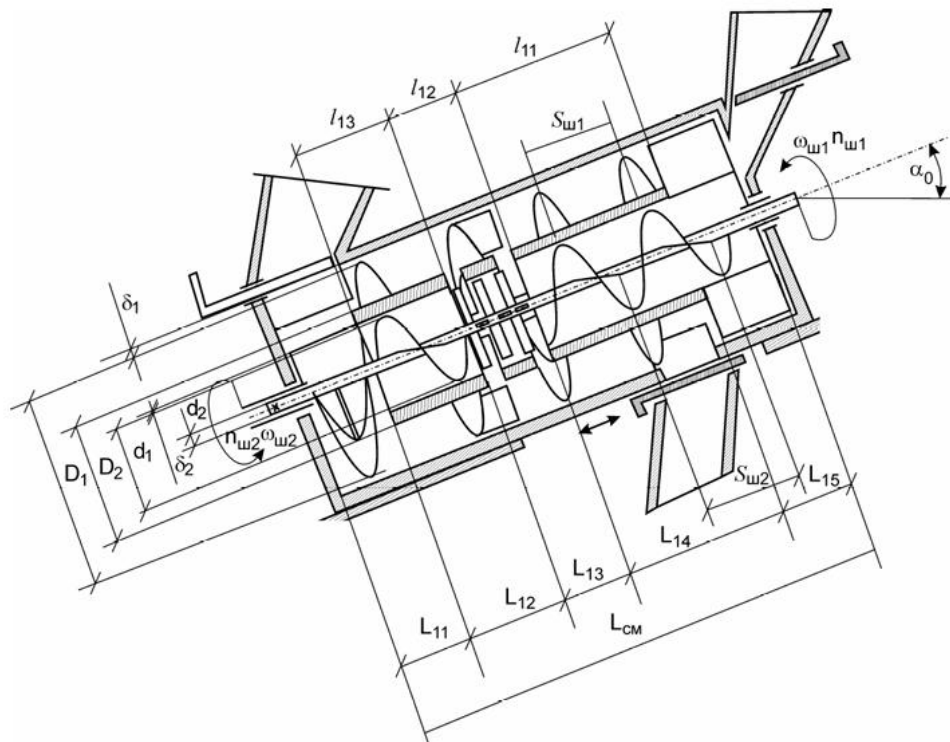


Рис. 2.3 - Розрахункова схема змішувача

Гвинтові обмотки виготовлені з плоского сталевого кільця.

речовина товщиною метри (1,0...1,5) 10^{-3} радіальним перерізом. Коли заготовку згинають, вона перетворюється на катушку.

Об'єм, який займає спіральна обмотка, визначається виразом:

$$V_{ш} = V_{шв} \cdot K_{шв}, \quad (2.6)$$

де $V_{шв}$ - об'єм, що займає один виток шнека, м^3 ;

$K_{шв}$ - кількість витків гвинта, шт.

Швидкість обертання гвинта визначається (рис. 2.3):

$$K_{шв} = \frac{L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}}{S_1}, \quad (2.7)$$

де L_{11} , L_{12} , L_{13} , L_{14} , - довжина зарядної частини гвинта, між навантаженням і площею за розпилювальною секцією, між секцією розпилювача, між секцією розпилення та тангенціальним листям, м;

S_1 - крок шнеку, м.

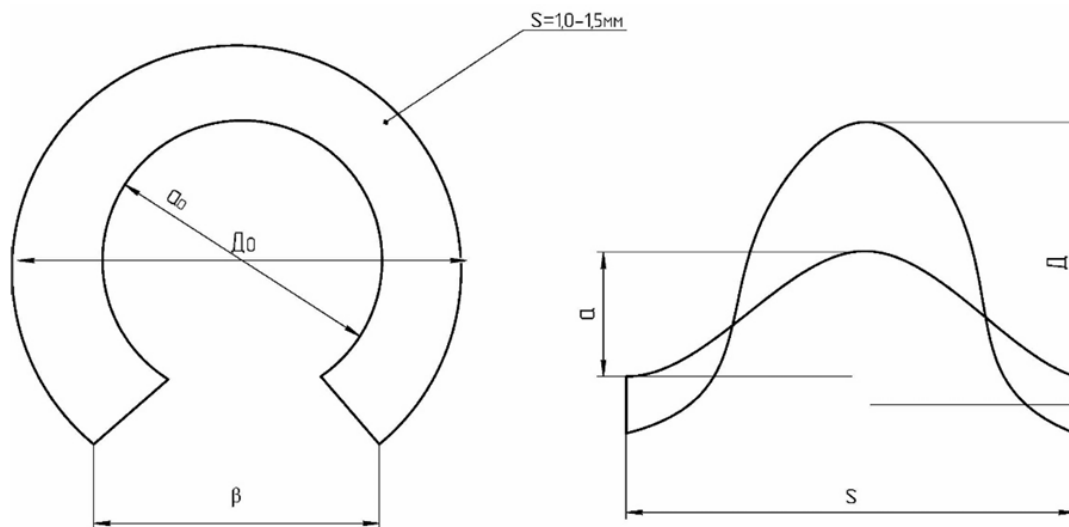


Рис. 2.4 - Основні параметри розвитку спіральних структур

2.3.1 Визначення продуктивності змішувача

Для забезпечення технологічного процесу продуктивність змішувача періодичної дії визначається за формулою:

$$Q_{см} = \frac{V_{нс} \cdot \rho_n \cdot \varphi_n}{t_{см} + t_{заг} + t_{вив}}, \quad (2.8)$$

де $V_{нс}$ - корисний об'єм змішувача, м^3 ;

ρ_n - насипна густина корму, кг/м³;

φ_n - коефіцієнт заповнення змішувальної камери;

$t_{см}$ - час змішування, с;

$t_{заг}$ - час завантаження, с;

$t_{вив}$ - час вивантаження, с;

Найважливішим фактором, що впливає на якість за фіксованої продуктивності змішувача, є час змішування, який залежить від тривалості циклу:

$$t_{см} = t_{ц} \cdot K_{ц} \quad (2.9)$$

де $t_{ц}$ - час циклу, с;

$K_{ц}$ - кількість циклів змішування, шт.

Розглянемо схему (рис 2.3) руху сировини через змішувач протягом одного циклу. Під впливом гвинтової обмотки 3 (рис. 2.3) подача не тільки перемішується, але й переміщується вздовж осі гвинта на відстань ($L_{11}+L_{12}$) за час.

У міру подальшого руху сировини вздовж шнека, на ділянці L_{13} вона зустрічається з обмоткою шнека 7 та плоскою лопаттю 5 (рис. 2.6), прикріпленою до зворотного каналу 2. У зворотному каналі є отвір 4 для часткового засипання сировини з гвинтової обмотки 7 у зворотний канал 2 за допомогою додаткового гвинта 6.

Корм, що не висипався через отвори, транспортується шнеком 4 (див. рис. 2.2) до тангенціальних лопатей 7 (переріз L_{15}) (див. рис. 2.3), внаслідок чого він викидається в канал і зворотний хід протягом часу, де його перехоплює додатковий шнек 6 (див. рис. 2.2), і під дією додаткового шнека 6 корм перемішується та переміщується вздовж осі додаткового шнека 18 протягом часу на відстань L_{14} (див. рис. 2.3) до лопатей 3 (див. рис. 2.2).

Потім суміш подачі потрапляє до секції L_{13} , де вона подається через вікна 4 (рис. 2.6) з гвинтової обмотки 7 та плоских лопатей 5. Під дією лопатей 3 (див. рис. 2.2) та обертового зворотного каналу 2, встановленого під кутом, суміш перемішується збіжними потоками суміші подачі та одночасно рухається з секції L_{14} (рис. 2.6) до секції L_{12} на відстані L_{13} .

Додатковий шнек 6 переміщує суміш по перерізу L_{12} (див. рис. 2.3) до зони завантаження L_{11} шнека 4 протягом часу, де вона захоплюється шнеком 4 і цикл змішування суміші, що подається, повторюється.

Щоб усунути застійні ділянки у змішувачі, у кожній секції необхідно дотримуватися умов безперервного потоку:

$$Q_{ш1} = Q_{диф1} = Q_{ш2} = Q_{тан} = Q_{дон1} = Q_{диф2} = Q_{дон2}, \quad (2.10)$$

де $Q_{ш1}$ - подача шнека на ділянках L_{11} та L_{12} , кг/с;

$Q_{диф1}$ - подача шнека в секції лиття L_{13} , кг/с

$Q_{ш2}$ - подача шнека в перерізі L_{14} , кг/с;

$Q_{тан}$ - швидкість подачі тангенціальної секції лопаті L_{15} , кг/с;

$Q_{дон1}$ - додаткова шнекова подача секції L_{14} , кг/с

$Q_{диф2}$ - подача у зворотному каналі лопаткової секції, L_{13} , кг/с;

$Q_{дон2}$ - додаткова шнекова подача секції L_{12} , кг/с.

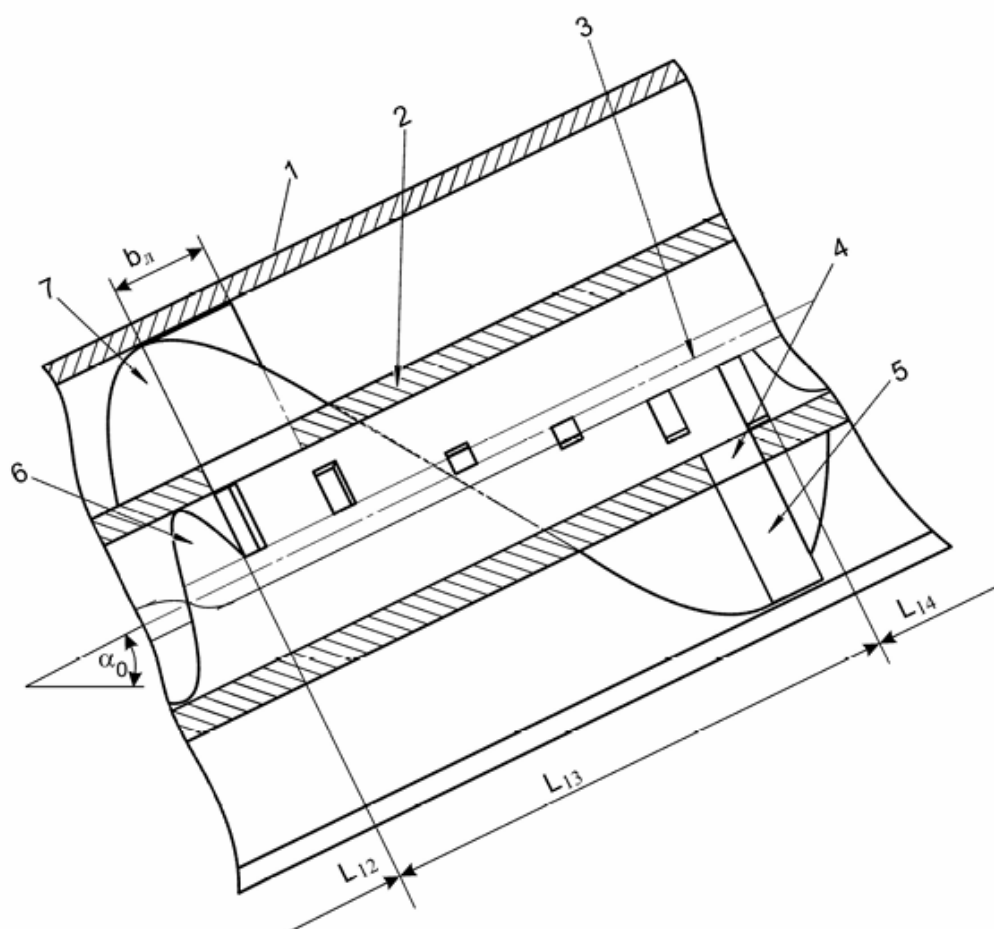


Рис. 2.6 - Принципова схема виливної деталі

1 - корпус; 2 - зворотний канал; 3 - вал; 4 - вікно; 5 - плоска лопатка; 6 - додатковий гвинт; 7 - гвинт.

Завдяки дії шнекового натягувача та лопатей, частинки подачі беруть участь в обертальному та осьовому русі відносно робочого елемента. Час перебування суміші в кожній секції робочого органу визначається осьовою подачею.

Під час обертання плоскої лопаті в шарі подачі частина її захоплюється лопаттю 3 і потрапляє у зворотний канал через вікно 2, а частина падає з лопаті під кутом α_K до природного нахилу (рис. 2.7).

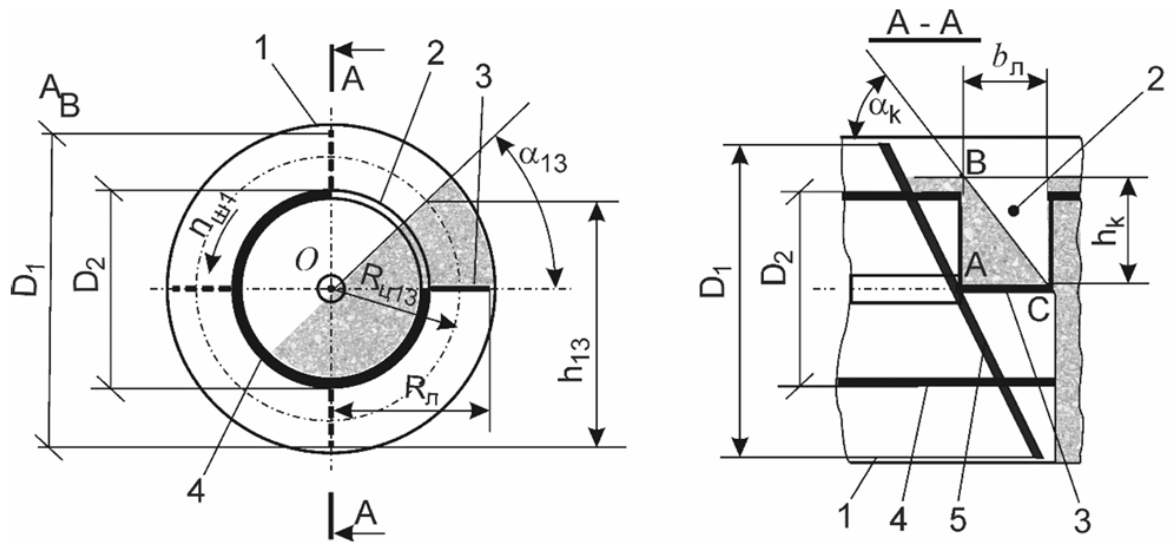


Рис. 2.7 - Схема розрахунку для визначення швидкості подачі з плоскими лопатями в секції лиття

1 - корпус; 2 - вікно; 3 - плоска лопать, 4 - зворотний канал. 5 - гвинт

Тоді обсяг корму, що захоплюється лопаткою, визначається:

$$V_{\text{шл}} = \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) \cdot b_{\text{л}}^2 \cdot \text{tg} \alpha_K \cdot \varphi_{\text{шл}}, \quad (2.10)$$

де α_K - кут внутрішнього тертя подачі, град

$\varphi_{\text{шл}}$ - коефіцієнт, що враховує наповнення перерізу шнека;

$b_{\text{л}}^2$ - ширина плоского листка, м.

У шнековій секції L_{14} суміш подачі рухається під дією шнека вгору до тангенціальних лопатей (секція L_{15}).

У секції L_{15} суміш подачі захоплюється тангенціальними лопатями та подається у зворотний канал. Ширина лопаті повинна забезпечувати потік кормової суміші та запобігати її здавлюванню на кінці корпусу.

Для покращення процесу перемішування суміші кормів, що надходить у секцію впорскування додаткового шнека через вікно в плоскій лопаті та зворотний канал з секції L_{14} , ширину лопаті приймають рівною половині ширини плоскої лопаті, прикріпленої до шнека (рис 2.8).

$$b_{\text{диф2}} = \frac{b_{\text{л}}}{2}, \quad (2.11)$$

де $b_{\text{диф}2}$ - ширина лопаті поперечного перерізу L_{13} додаткового гвинта, м.

Під час руху лопатей у кормовому шарі перед ними утворюється клин суміші кормів, який потім, коли лопаті продовжують обертатися, перекидається на вал додаткового шнека. Кормовий клин перед лопаттю має висоту $b_{\text{диф}2}$ (рис. 2.9) та природний кут нахилу α_K . Кількість корму, що захоплюється лопатою, залежить від:

$$V_{\text{диф}2} = \left(R_{л2} - \frac{d_2}{2} \right) \cdot S_{\text{диф}2}, \quad (2.12)$$

де $R_{л2}$ - зовнішній радіус лопаті, м;

$S_{\text{диф}2}$ - площа, що захоплюється лезом, м².

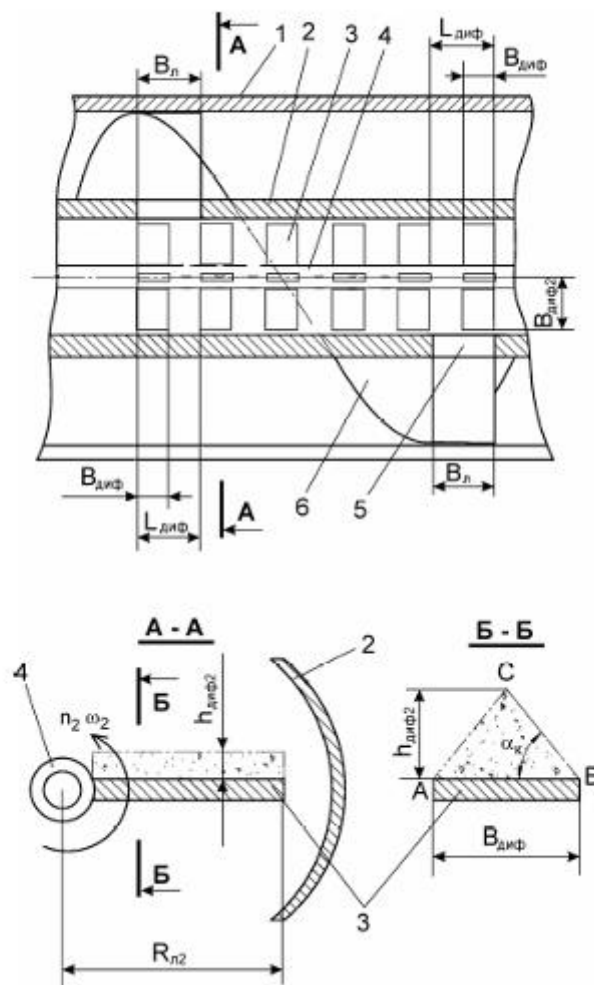


Рисунок 2.9 - Схема розрахунку перерізу лиття під впливом лопатей додаткового шнека

1 - корпус змішувача, 2 - зворотний канал, 3 - додаткові лопаті шнека, 4 - вал, 5 - плоскі лопаті. 6 - Шнек

Виявляється, що умовою ефективної роботи змішувача є те, щоб фактична продуктивність не була нижчою за технічну. Якість суміші, оцінена за допомогою коефіцієнта гетерогенності, не повинна перевищувати вимог

технології тваринництва. Питома витрата енергії на процес змішування зменшується.

На основі розроблення класифікації кормозмішувачів та аналізу результатів наукових досліджень розроблено нову конструкцію та нову технологічну схему періодичного шнекового змішувача для сухих сипких кормів з активним зворотним каналом. Змішувальним елементом є шнек, вхід і вихід якого з'єднані зворотним каналом. У зворотному каналі встановлено додатковий шнек з валом, який має секцію впорскування з плоскими лопатями вздовж своєї осі. Навпроти лопаті у зворотному каналі розташований отвір у вигляді щілини шириною, що перевищує розмір характерної частинки подачі. До валу гвинта навпроти отвору зворотної канавки кріпиться плоске лезо. На кінці шнека лопаті закріплені тангенціально, нахилені до руху подачі. Він має механізм для зміни кута літака відносно горизонту.

В результаті прийнятої конструкції змішувача час змішування скорочується за рахунок розділення та об'єднання потоків суміші сировини в секції впорскування під час їх руху по зворотному каналу завдяки дії додаткових лопатей шнека та вікна у зворотному каналі, а також завдяки зближенню потоків матеріалу під час руху суміші сировини з секції завантаження до секції розвантаження завдяки дії шнека.

Теоретичні дослідження дозволили отримати аналітичні залежності для визначення: ефективного об'єму змішувача на основі конструктивних параметрів корпусу та коефіцієнта, що враховує об'єм робочого органу. Продуктивність, зумовлена частотою обертання робочих органів, наявною ємністю змішувача, часом дозування, змішування та розвантаження, швидкістю заповнення змішувальної камери, фізико-механічними властивостями інгредієнтів, що змішуються. Час циклу залежить від конструкції змішувача та робочих параметрів, а також від фізико-механічних властивостей змішаного матеріалу, що впливають з умов безперервного потоку компонентів суміші для подачі. - Об'ємна подача з змішувача за час циклу, відношення кроку шнека до його діаметра. Коефіцієнт, що враховує співвідношення зовнішнього діаметра шнека та додаткового шнека, а також коефіцієнт, що враховує співвідношення кроку та діаметра шнека та додаткового шнека з метою максимального підвищення продуктивності змішувача. Вплив кута нахилу корпусу гвинта відносно горизонталі. - питома витрата енергії на процес змішування кормів, що базується на потужності, що приводить у рух робочий орган, та конструктивних і експлуатаційних параметрах робочого органу, з урахуванням фізичних та механічних властивостей матеріалів, що змішуються.

3. МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ У ШНЕКОВОМУ ЗМІШУВАЧІ З АКТИВНИМ ЗВОРОТНИМ КАНАЛОМ

3.1 Цілі та завдання експериментального дослідження

В експериментальному дослідженні було поставлено мету перевірити основні теоретичні положення та висновки та визначити раціональні конструктивні, експлуатаційні та технологічні параметри шнекового змішувача з активним зворотним каналом. Процедура проведення експериментальної дослідницької роботи з процесу змішування за допомогою періодичного шнекового змішувача з активним зворотним каналом .

Першим завданням розробки дослідницької програми було визначення цілей дослідження, гіпотез та їх теоретичного розвитку, а також загальної методології дослідження. Програма експериментальних досліджень (табл. 3.1), що виконувалася в кілька етапів, включала:

- з'ясування та вивчення специфічних фізико-механічних властивостей компонентів кормів, на основі яких проводилися лабораторні експерименти та виробничі випробування.

- розробка лабораторного прототипу шнекового змішувача з активним зворотним каналом на основі принципів, запропонованих у теоретичному дослідженні.

- вивчення впливу різних факторів на показники якості робочого процесу, продуктивності (постачання) та енергоспоживання змішувачів у лабораторних та виробничих умовах.

Таблиця 3.1 - Програма експериментальних досліджень

Встановлення	Етапи проведення експерименту досліджень	Предмет дослідження
Шнековий змішувач з активним каналом зворотного ходу	Уточнення та вивчення фізико-механічних властивостей компонентів кормової суміші.	Об'ємна щільність футеровки, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя, початкова міцність на зсув, характерний розмір частинок, кути впорскування та руйнування, вміст вологи

	Лабораторне дослідження активного шнекового змішувача зі зворотним каналом: визначення раціональних та оптимальних конструктивних, експлуатаційних та технологічних параметрів змішувача. Отримати дані для перевірки збіжності теоретичних та емпіричних положень.	На ньому показано, як зміна суміші подачі з бункера залежить від величини відкриття клапана. Залежність зміни подачі кормової суміші від частоти обертання шнека. Залежність зміни потужності від частоти обертання гвинта.
		Регресійні моделі частоти обертання робочого тіла, часу перемішування та кута нахилу робочого тіла відносно горизонталі на основі коефіцієнта нерівномірності перемішування та показників питомих енерговитрат.
	Випробування змішувача у виробничих умовах.	Порівняльна оцінка показників якості та питомої енергоємності модернізованого змішувача з базовим.

3.2 Дослідження подачі кормової суміші до змішувача

Метою цього дослідження є визначення впливу величини відкриття заслінки та кута силосу на процес заповнення змішувача кормовою сумішшю, що складається з подрібнених зернових компонентів (ячмінь, пшениця).

Схема встановлення та загальний вигляд показані на рисунках 3.2 та 3.3. Пристрій складається з лійки 4, закріпленої на валу, оснащеному засувкою 9 та гвинтовим механізмом 2 (рис. 3.2). Для визначення розміру відкриття клапана 9 є індикатор 7 зі шкалою 8. Кут горизонтального нахилу бункера встановлюється гвинтовим механізмом 2 та контролюється кутовою шкалою 11 з кутовим індикатором 3.

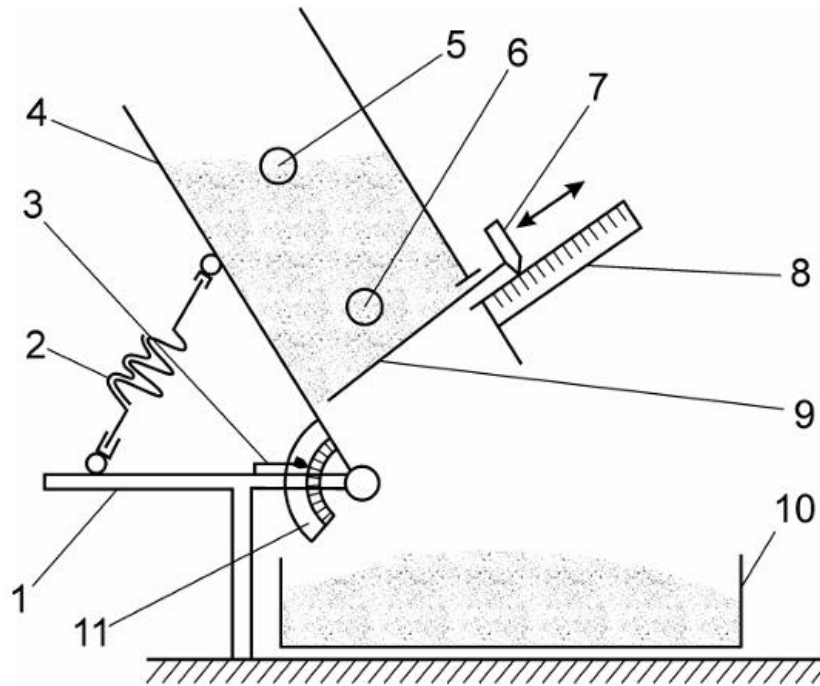


Рисунок 3.2 - Експериментальна установка для вивчення подачі з бункера 1 - підставка; 2 - гвинтовий механізм; 3 - індикатор кута нахилу бункера. 4 - бункер; 5 - датчик високого рівня; 6 - датчик низького рівня; 7 - індикатор положення дросельної заслінки. 8 - шкала; 9 - засувка; 10 - приймальний відсік; 11 - кутова шкала

Для визначення швидкості подачі гвинтовий механізм 2 встановлювали під потрібним кутом відносно горизонталі. Цей кут контролювався індикатором кута нахилу 3 на шкалі кутів 11. При закритій заслінці 9 бункер 4 заповнювався порцією корму масою $m_{\text{п}}$. Секундомір було запущено і одночасно відкрито клапан 9, контрольований положенням індикатора 7 на шкалі 8, до заданого значення.

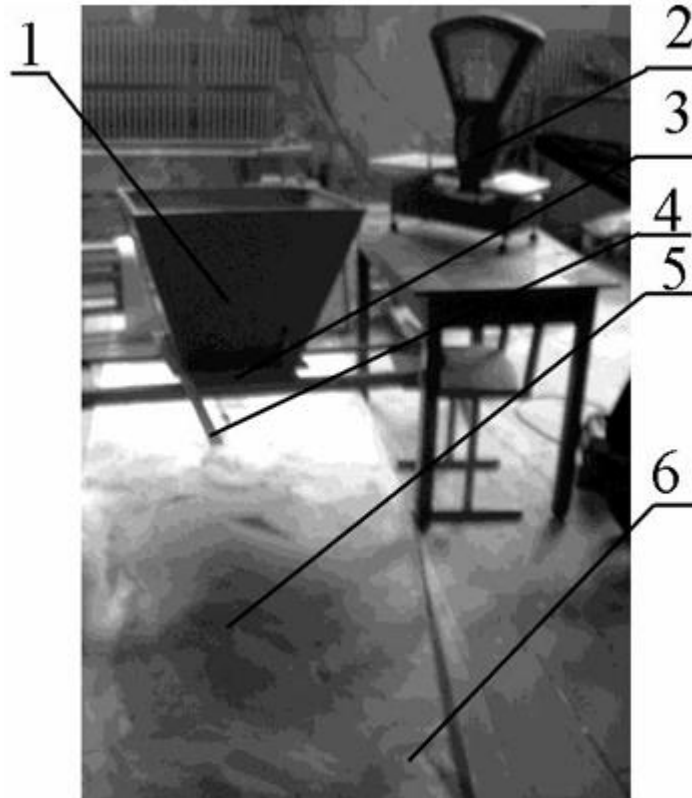


Рис. 3.3 - Загальний вигляд установки для дослідження подачі корму з бункера

1 - бункер; 2 - ваги; 3 - демпфер; 4 - шкала; 5 - наповнювач; 6 - стрічка

Час, необхідний для вивантаження порції корму з бункера, фіксували за допомогою секундоміра. Отримані дані занесли до журналу.

Повторюваність експерименту становить щонайменше п'ять вимірювань для кожного положення заслінки та кута нахилу бункера відносно горизонталі.

Подача бункера розраховувалася за такою формулою:

$$Q_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ni}}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (3.1)$$

де Q_{δ} - подача сировини з бункера, кг/с;

m_{ni} - маса i -ї частини корму, кг;

t_i - час, протягом якого i -та частина корму витікає з силосу, с;

n - кількість порцій корму, шт.

Фактори, рівні їх варіації та критерії оцінки витоку корму з бункерів наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Фактори, рівні їх варіації, критерії оцінки для дослідження подачі корму з бункера

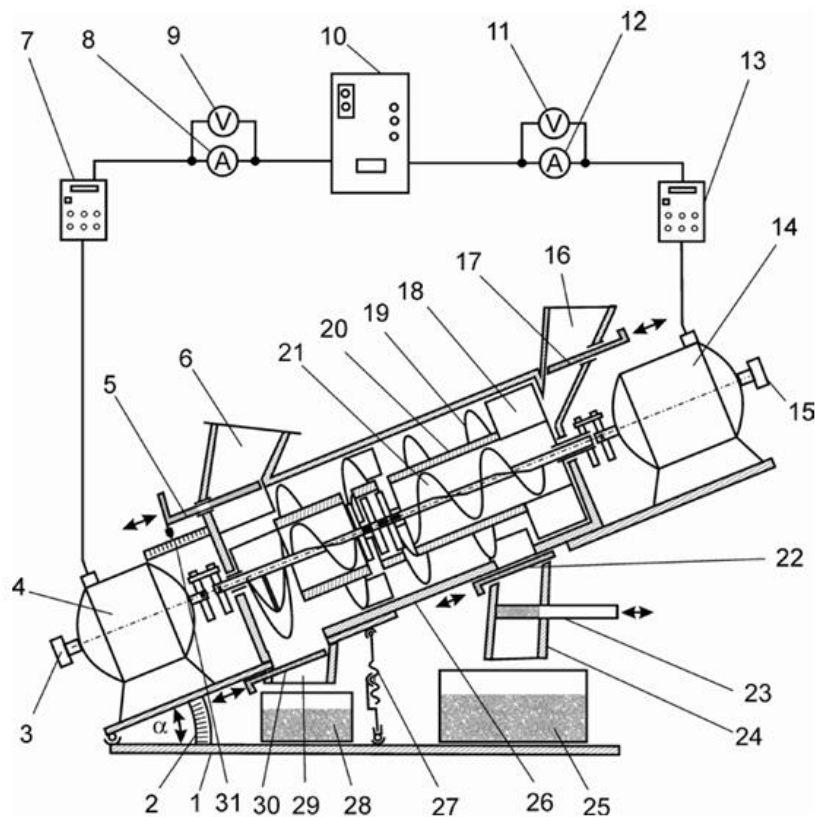
Лабораторна установка	Конструктивно кінематичні параметри	Рівні варіювання факторів	Критерії оцінки
Пристрій бункера	Положення заслінки, A , м. Кут нахилу бункера до горизонту, α градусів.	0.05; 0.10; 0.15; 0.20; 0.25 0; 10; 15; 20; 25; 30	Подача Q_{δ} , кг/с

3.3 Дослідження подачі та потужності на шнековий привід

При відкритті заправного клапана корпус змішувача заповнюється кормовою сумішшю під дією шнека. Розвантаження кормової суміші з корпусу змішувача також здійснюється шляхом роботи шнека при відкритому запобіжному клапані.

Тривалість циклу, а отже, і час, необхідний для отримання високоякісної суміші, визначається ефективністю шнека, який подає компоненти суміші для завантаження із зони заповнення до зон розливання та дотичних лопатей.

Метою дослідження також була перевірка адекватності отриманих теоретичних виразів для визначення подачі та потужності для приведення в рух робочих елементів гвинта.



3.4 - Принципова схема експериментальної установки шнекового змішувача з активними зворотними каналами

1 - рама; 2 - транспортер; 3, 15 - тахометр; 4 - гвинтовий привід; 5, 17, 22, 30 - футляр «слоник»; 6 - ємність для заповнення; 7, 13 - перетворювач частоти; 8, 12 - амперметр; 9, 11 - вольтметр; 10 - панель керування; 14 - додатковий гвинтовий привід; 16 - контейнер компонентів керування; 18 - тангенціальна лопатка; 19 - гвинт; 20 - зворотний канал; 21 - додатковий гвинт; 23 - пробовідбірник; 24, 29 - випускні труби; 25, 28 - місткість; 26 - корпус змішувача; 27 - гвинтовий механізм; 31 - масштабний рисунок

У шнекових змішувачах періодичної дії коефіцієнт упаковки коливається від 0,3 до 0,4 для горизонтальної конфігурації шнека та від 0,7 до 0,8 для вертикальної конфігурації.

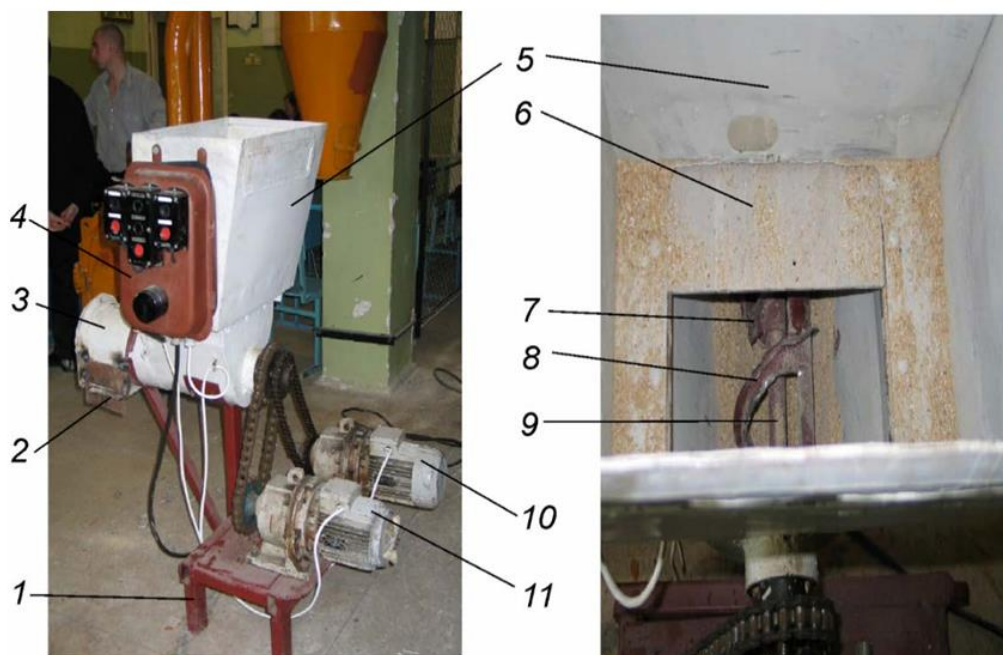


Рис. 3.5 - Загальний вигляд експериментальної установки шнекового змішувача з активним зворотним каналом

1 - рама; 2 - вихідна труба; 3 - тіло; 4 - пульт дистанційного керування; 5 - бункер; 6 - для слона; 7 – додатковий гвинт; 8 - гвинт; 9 - вал; 10 - додатковий гвинтовий привід; 11 - шнековий привід

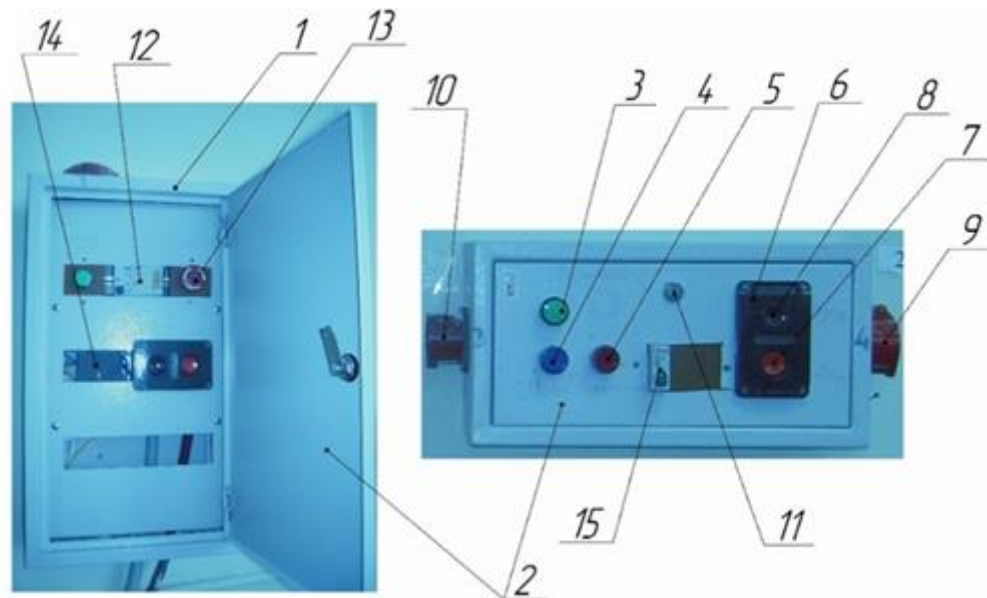


Рисунок 3.6 – панель керування

1 - коробка; 2 - двері; 3, 4, 5 - індикатори: зелений, синій, червоний. 6 - блок кнопок; 7 - кнопка Пуск; 8 - кнопка Стоп; 9 - розетка; 10 - вилка; 11 - замок; 12 - автоматичний вимикач витoku на землю; 13 - Стоп, гриб; 14 - магнітний стартер. 15 - вимикач живлення

Зміна окружної швидкості шнека в діапазоні 0,6–1,5 м/с має найбільший вплив на якість суміші. Збільшення окружної швидкості понад 2,0 м/с призводить до значного збільшення швидкості подачі без суттєвої зміни якості суміші. Тому рекомендується вибирати оптимальне значення окружної швидкості робочих елементів у діапазоні 1,5...2,0 м/с.

На основі цих рекомендацій було встановлено коефіцієнти, рівні варіації та критерії оцінки робочих факторів шнекових змішувачів, які наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Фактори, рівні їх варіювання, критерії оцінки дослідження шнека

Лабораторна установка	Структурні, кінетичні та експлуатаційні параметри	Рівні варіації факторів	Критерії оцінки
Шнековий змішувач	Кут нахилу бункера до горизонту, α градусів.	0; 10; 15; 20; 25; 30; 35	Подача, $Q_{ш}$ кг/с; Потужність $N^{ш}$, Вт.
	Частота обертання шнека, $n_{ш}$, c^{-1}	1,73; 2,08; 2,43; 2,77; 3,12; 3,47; 3,82	

Час перемішування визначали за допомогою секундоміра, частоту обертання робочих органів контролювали оптичним тахометром DT6236B, а частоту обертання гвинта встановлювали частотним перетворювачем.

Для керування подачею та струмом до приводу шнека 19 (рис. 3.4) у бункер 6 завантажуються попередньо відформовані шматки наповнювача (ячмінного або пшеничного шроту) або керуючі компоненти. Шнековий механізм 27 встановлює заданий кут нахилу корпусу змішувача 26. Кут кріплення корпусу змішувача контролювався кутовим датчиком 2. Привід 14 шнека 19 тепер увімкнено.

Необхідна швидкість шнека 19 встановлюється частковим перетворювачем 13, який контролюється тахометром 15. Заслінку 5 відкривали та фіксували час початку подачі наповнювача з бункера 6 до секції завантаження шнека 19. Час, необхідний для вивантаження порції корму з бункера 6, фіксували секундоміром.

Швидкість подачі гвинта була розрахована за рівнянням (3.1). Потужність, необхідна для закручування гвинта, визначалася за показаннями амперметра та вольтметра.

Загальні витрати на енергію були розраховані за рівнянням:

$$N_{\text{обц}}^{\text{ш}} = N_{\text{рш}}^{\text{ш}} + N_{\text{аш}}^{\text{ш}}, \quad (3.2)$$

де $N_{\text{обц}}^{\text{ш}}$ - загальна споживана потужність, Вт;

$N_{\text{рш}}^{\text{ш}}$ - потужність на один робочий хід гвинта, Вт;

$N_{\text{аш}}^{\text{ш}}$ - потужність гвинта без навантаження, Вт.

Експериментальні повторення становили щонайменше п'ять вимірювань при кожній частоті обертання шнека 19 та куті нахилу корпусу змішувача відносно горизонталі. Отримані дані були зафіксовані.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА З АКТИВНИМ ЗВОРОТНИМ КАНАЛОМ

4.1 Загальні положення

В експериментах з вивчення процесу змішування сухих кормів були перевірені теоретичні припущення, необхідні для вибору оптимальних або раціональних конструктивних, експлуатаційних та технологічних параметрів шнекових змішувачів з активними зворотними каналами, а також уточнені або встановлені вихідні дані.

Аналітичні залежності, отримані в результаті теоретичних досліджень, відображають функціональні зв'язки між конструктивними, експлуатаційними умовами та технологічними параметрами, що впливають на показники якості та енергоспоживання в процесі змішування сухих сипких кормових інгредієнтів. Робиться багато припущень, а фізичні та механічні властивості компонентів, що змішуються, враховуються не повністю, що унеможливорює повне врахування

впливу конструктивних, експлуатаційних та технологічних параметрів на показники якості змішування та енергоспоживання.

Отже, теоретичні приписи щодо важливості впливу окремих факторів на процес змішування кормових інгредієнтів потребують експериментальної перевірки. Цей етап включає виявлення закономірностей, які не були аналітично встановлені, порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також уточнення аналітичних залежностей, що відображають функціональні зв'язки між конструктивними та експлуатаційними параметрами, що впливають на процес приготування кормової суміші запропонованими робочими установами.

4.2 З'ясування фізико-механічних властивостей кормів

Результати дослідження з визначення фізико-механічних властивостей об'ємних кормів, отриманих після обробки результатів дослідження, представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Експериментальні фізико-механічні властивості досліджуваних кормів

Показник	Розмірність	Значення
Волога	%	12,1±0,5
Об'ємна маса	кг/м ³	646,0±1,0
Модуль помелу	мм	1,21±0,02
Кут природного укусу	град	38,94±1,02
Коефіцієнт внутрішнього тертя	f_B	0,43±0,02
Коефіцієнт тертя сталі	$f_{ст}$	0,56±0,02
Початковий опір зрушенню	Па	63,62±0,01

Для оцінки отриманих значень їх порівнювали зі значеннями з опублікованих робіт. Отримані результати дослідження знаходяться в межах допустимого.

4.3 Результати дослідження подачі корму з бункера

Для вивчення впливу умов завантаження змішувача одним із етапів дослідження було визначення експериментальних значень подачі кормової суміші з бункера. Результати дослідження показано на рисунку 4.1.

Зі збільшенням отвору клапана від 5 см до 25 см (рис. 4.1) кут нахилу сита до горизонталі змінюється від 0 градусів до 30 градусів, а швидкість подачі лінійно зростає від 0,63 кг/с до 17,79 кг/с. Максимальне значення подачі спостерігається, коли бункер знаходиться в горизонтальному положенні, а мінімальне значення подачі спостерігається, коли бункер нахилений під кутом 30 градусів до горизонту. Це пов'язано зі збільшенням тертя корму об стінки бункера та, як наслідок, зменшенням потоку корму через вихідний отвір.

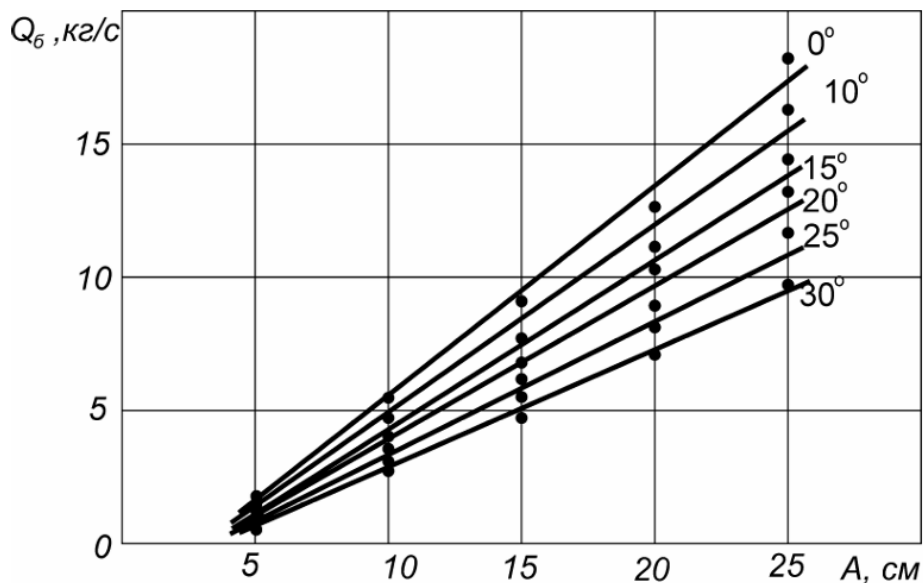


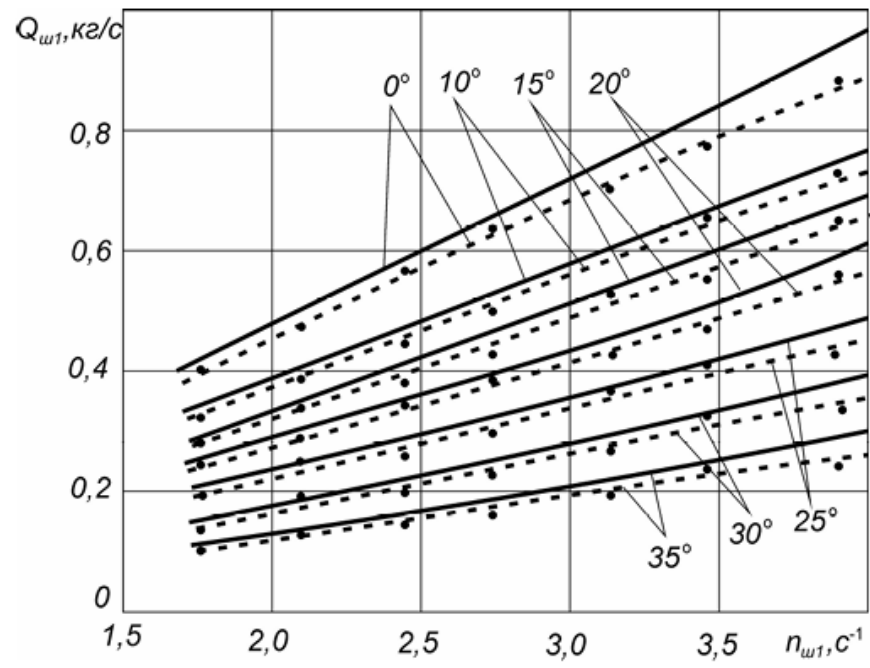
Рис. 4.1 - Експериментальні значення швидкості подачі кормової суміші (Q_b) з бункера (для кутів нахилу від 0 до 30 градусів від положення розвантажувальної заслінки (A) до горизонту)

4.4 Результати дослідження живлення та живлення гвинтового приводу

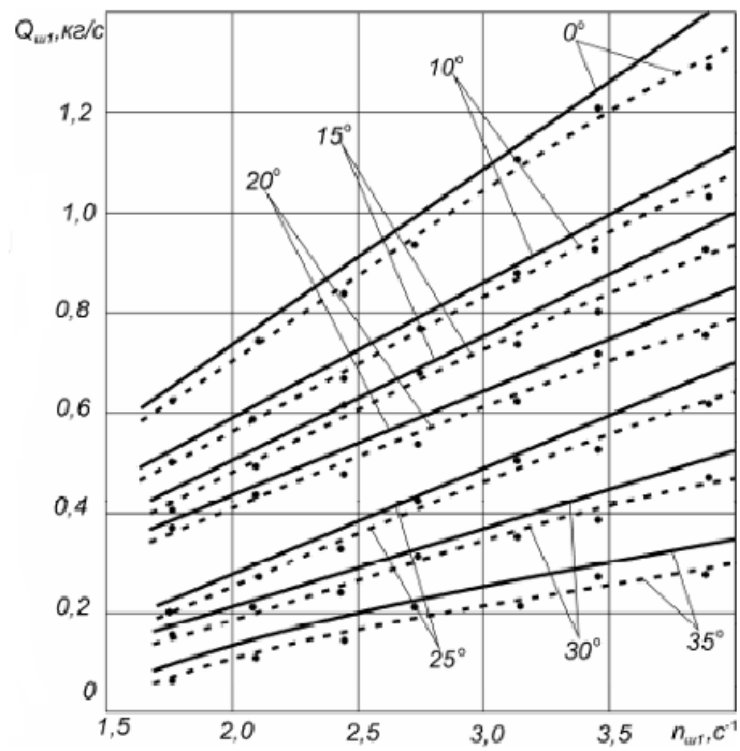
Під час теоретичного дослідження було виявлено, що для усунення застійних ділянок у змішувачі необхідно виконувати умову безперервного потоку в кожній секції змішувача. Формування потоку кормової суміші визначається шнековою подачею.

Врахування швидкості подачі від швидкості обертання гвинта показано на рисунку 4.2.

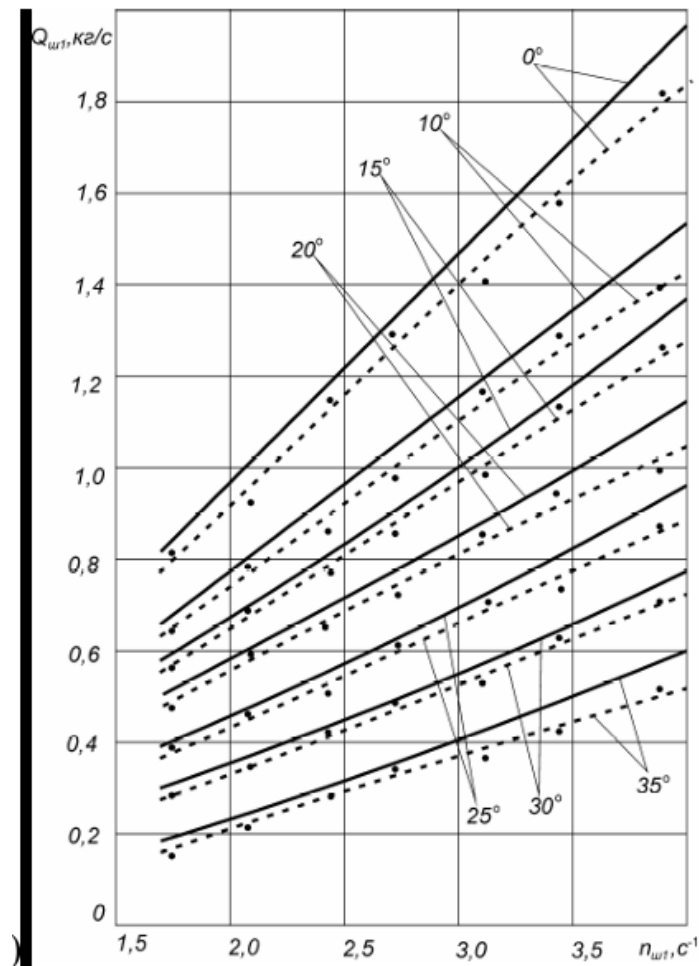
З аналізу рис. 4.2 видно, що зі зміною швидкості обертання від $2,0 \text{ c}^{-1}$ до $4,0 \text{ c}^{-1}$ швидкість подачі збільшується від $0,18 \text{ кг/с}$ до $1,9 \text{ кг/с}$, але спостерігається, що швидкість подачі збільшується зі зменшенням кута нахилу змішувача відносно горизонталі. Спостерігається, що коли співвідношення кроку шнека до діаметра більше $0,8$, швидкість подачі значно зменшується зі збільшенням горизонтального кута нахилу корпусу змішувача. Це пов'язано зі зменшенням транспортної здатності гвинта.



a)

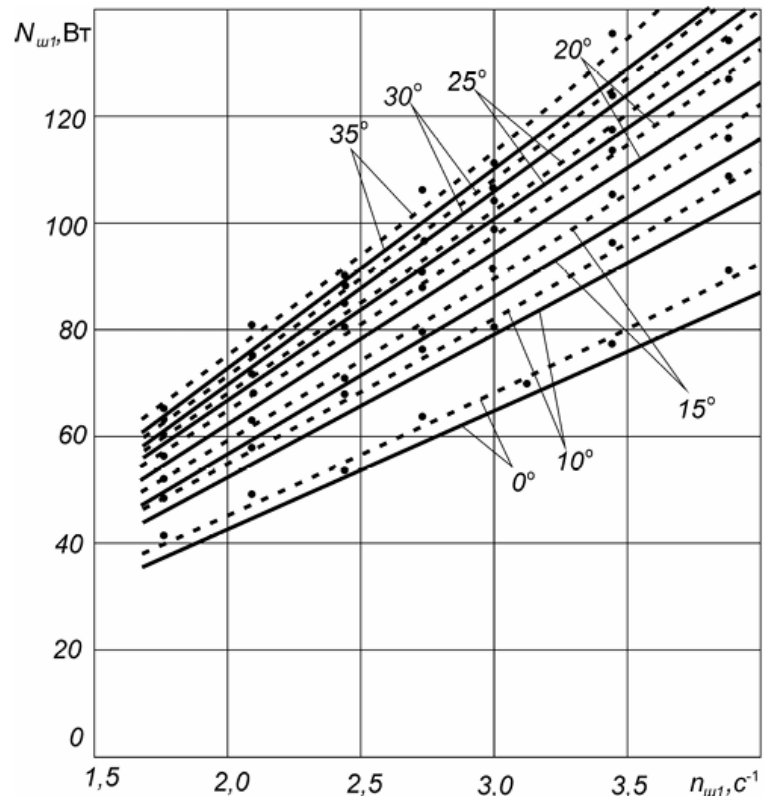


б)

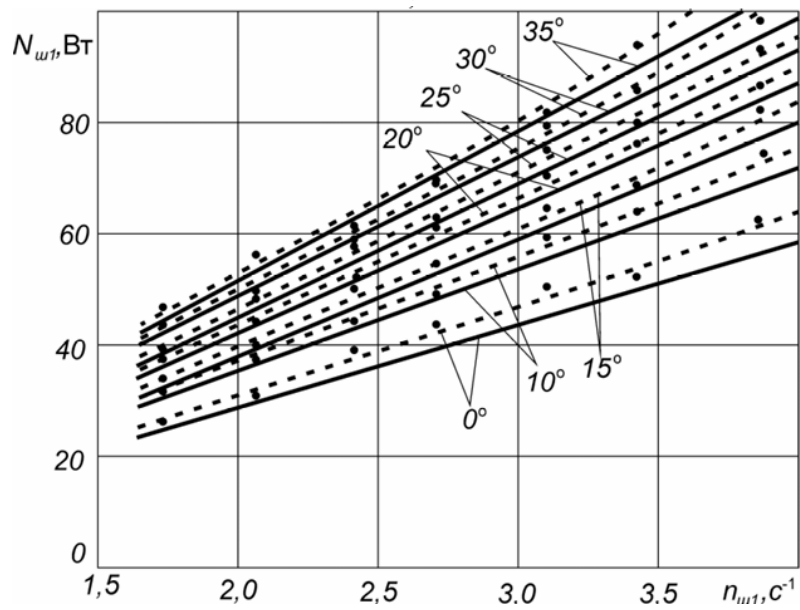


в)

Рис. 4.2 - Залежність швидкості подачі ($Q_{ш1}$) від частоти обертання різьби для кутів кріплення корпусу від 0 до 35 градусів: а - відношення діаметра до кроку різьби 0,4; б - співвідношення діаметра до кроку різьби становить 0,6. і - відношення діаметра до кроку різьби 0,8; теоретична залежність (суцільна лінія); експериментальні залежності (штрихові лінії)



a)



б)

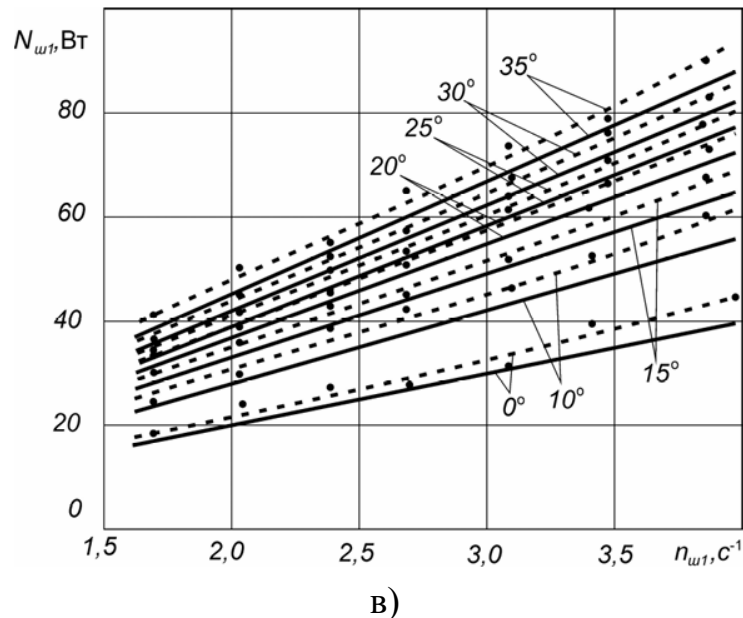


Рис. 4.3 - Залежність зміни потужності від частоти обертання гвинта: а - відношення діаметра до кроку гвинта 0,4; б - співвідношення діаметра до кроку гвинта 0,6. в - співвідношення діаметра до кроку різьби становить 0,8.

З аналізу рис. 4.3 видно, що споживання потужності лінійно зростає зі зміною частоти обертання гвинта. Зі збільшенням кута нахилу корпусу гвинта по горизонталі також збільшується споживання енергії приводом. Мінімальне значення потужності становило 17,21 Вт (рис. 4.3, а), що відповідає горизонтальному положенню корпусу гвинта, співвідношенню кроку до діаметра 0,8 та частоті обертання робочого елемента $1,73 \text{ с}^{-1}$. Коли кут нахилу становить 35° , співвідношення кроку гвинта до діаметра становить 0,4, а частота обертання гвинта становить $3,82 \text{ с}^{-1}$, максимальне значення потужності становить 141,78 Вт (рис. 4.3, С).

Вищі значення потужності, необхідні для приведення в рух шнека, пояснюються більшими витратами енергії через тертя між подачею та обертом шнека (більше комірок між обертами на одиницю довжини шнека), внутрішнім тертям між подачею та її рухом у просторі між обертами, а також додатковою роботою, необхідною для підйому продукту.

Для перевірки достовірності запропонованого виразу отримані теоретичні значення були порівняні з експериментальними значеннями. Можна побачити хорошу збіжність теоретичних та експериментальних даних, отриманих щодо джерела живлення та потужності для приведення в рух робочих елементів гвинта. Значення похибки не перевищує 8,97%.

Експериментальне дослідження виявило значення фізичних та механічних властивостей змішаних матеріалів. Насипна щільність становить 646 кг/м^3 . Вологість 12,1% Природний кут природного укусу $38,94$ градуса Коефіцієнт

тертя 0,43; Коефіцієнт тертя по металу 0,56 Модуль шліфування 1,21. Отримані значення можна порівняти з тими, що отримали інші дослідники.

Дослідження впливу параметрів конструкції бункера на процес подачі корму показало, що збільшення відкриття заслінки з 5 см до 30 см призвело до лінійного збільшення швидкості подачі з 0,63 кг/с до 17,79 кг/с для кутів горизонтального нахилу бункера від 0 до 35 градусів. 162 З.

Експериментальне дослідження конструкції, експлуатації та технологічних параметрів змішувача виявило наступне спостерігається, що зі зміною швидкості шнека від 2,0 с⁻¹ до 4,0 с⁻¹ швидкість подачі лінійно зростає від 0,18 кг/с до 1,9 кг/с, тоді як швидкість подачі збільшується зі зменшенням кута нахилу змішувача відносно горизонталі. Спостерігається, що коли співвідношення кроку шнека до діаметра більше 0,8, швидкість подачі значно зменшується зі збільшенням горизонтального кута нахилу корпусу змішувача.

Мінімальне значення потужності 17,21 Вт відповідає горизонтальному положенню корпусу гвинта, співвідношенню кроку гвинта до горизонталі 0,8 та частоті обертання робочих елементів 1,73 с⁻¹ (швидкість подачі 0,1 кг/с). Максимальне значення потужності становить 141,78 Вт при куті нахилу 35°, співвідношенні кроку гвинта до діаметра 0,4 та швидкості обертання гвинта 3,82 с⁻¹ (швидкість подачі 1,85 кг/с). - Коли швидкість обертання становить від 2,5 до 3,5 с⁻¹, співвідношення кроку шнека до діаметра шнека становить від 0,6 до 0,8, а кут нахилу корпусу шнека до горизонту становить від 0 до 35 градусів, різниця між експериментальними та теоретичними значеннями швидкості подачі шнека та потужності, що споживається в процесі змішування, не перевищує 8,97%.

Висновки

На основі розроблення класифікації кормозмішувачів та аналізу результатів наукових досліджень було розроблено нову конструкцію та нову технологічну схему циклічного шнекового змішувача для сухих сипких кормів з активним зворотним каналом. Змішувальним елементом є шнек, завантажувальна та розвантажувальна секції якого з'єднані зворотним каналом. У зворотному каналі встановлено додатковий шнек з валом, а вздовж валу передбачена секція впорскування з плоскою лопаткою. Навпроти лопаті у зворотному каналі розташований отвір у вигляді щілини шириною, що перевищує розмір характерної частинки подачі. До валу гвинта навпроти отвору зворотної канавки кріпиться плоске лезо. На кінці шнека лопаті закріплені тангенціально, нахилені до руху подачі. Він має механізм для зміни кута літака відносно горизонту.

Теоретичні дослідження дозволили отримати аналітичні залежності для визначення:

- продуктивності від частоти обертання робочих органів, корисної місткості змішувача, часу завантаження, змішування та розвантаження, швидкості заповнення змішувальної камери та фізико-механічних властивостей змішуваних інгредієнтів.

- час циклу залежить від конструкції змішувача та робочих параметрів, а також від фізико-механічних властивостей змішуваного матеріалу за умови безперервного потоку компонентів суміші подачі.

- об'ємна подача з змішувача за час циклу, відношення кроку шнека до його діаметра.

- коефіцієнт, що враховує співвідношення зовнішнього діаметра шнека та додаткових шнеків для забезпечення максимальної продуктивності змішувача та коефіцієнт: що враховує співвідношення кроку та діаметра шнека та додаткових шнеків. Вплив кута нахилу корпусу гвинта відносно горизонталі.

- питома витрата енергії на процес змішування кормів, що базується на потужності, що приводить у рух робочий орган, та конструктивних і експлуатаційних параметрах робочого органу, з урахуванням фізичних та механічних властивостей матеріалів, що змішуються.

Експериментальні дослідження конструкції, експлуатації та технологічних параметрів змішувача виявили наступне:

- Спостерігається, що зі зміною швидкості шнека від $2,0 \text{ c}^{-1}$ до $4,0 \text{ c}^{-1}$ швидкість подачі лінійно збільшується від $0,18 \text{ кг/с}$ до $1,9 \text{ кг/с}$, тоді як швидкість подачі збільшується зі зменшенням кута нахилу змішувача відносно горизонталі. Спостерігається, що коли співвідношення кроку шнека до діаметра більше $0,8$, швидкість подачі значно зменшується зі збільшенням горизонтального кута нахилу корпусу змішувача:

- мінімальне значення потужності $17,21 \text{ Вт}$ відповідає горизонтальному положенню корпусу гвинта, співвідношенню кроку гвинта до горизонталі $0,8$ та частоті обертання робочих елементів $1,73 \text{ c}^{-1}$ (швидкість подачі $0,1 \text{ кг/с}$). Максимальне значення потужності становить $141,78 \text{ Вт}$ при куті нахилу 35° , співвідношенні кроку гвинта до діаметра $0,4$ та швидкості обертання гвинта $3,82 \text{ c}^{-1}$ (швидкість подачі $1,85 \text{ кг/с}$).

- коли швидкість обертання становить від $2,5 \text{ c}^{-1}$ до $3,5 \text{ c}^{-1}$, співвідношення кроку шнека до діаметра шнека становить від $0,6$ до $0,8$, а кут нахилу корпусу шнека до горизонту становить від 0 до 35 градусів, різниця між експериментальними та теоретичними значеннями швидкості подачі шнека та потужності, що споживається в процесі змішування, не перевищує $8,97\%$.

- на основі результатів багатофакторних експериментів отримано рівняння регресії, що описують вплив досліджуваних факторів на якість суміші, оцінену коефіцієнтом варіації та питомими енергетичними витратами. Мінімальні значення критеріїв оптимізації в рамках дослідження були визначені - питомі енергетичні витрати процесу змішування - 1491 Вт·с/кг, неоднорідність суміші - 5,98%. Раціональні значення параметрів змішувача: частота обертання шнека $n_{ш1} = 3,5 \text{ с}^{-1}$, час перемішування $\tau_{см} = 180...240 \text{ с}$; кут нахилу гвинта відносно горизонталі $\alpha = 30$ градусів; при раціональних значеннях параметрів питома витрата енергії буде в діапазоні 1491...2628 Вт·с/кг, неоднорідність суміші, оцінена коефіцієнтом варіації, становитиме 10...5,98%, а продуктивність становитиме 6,73 кг/с.

Виробничі випробування шнекового змішувача для комбікормів з активним зворотним каналом показали, що, порівняно зі змішувачем КУ-100, показники якості технологічного процесу зросли, завдяки можливості організувати рух компонентів комбікормів усередині корпусу змішувача та частково висипати їх у зворотний канал. Гетерогенність зменшилася на 26,6% до 7,9%, питомі енергетичні витрати процесу виробництва комбікормів знизилися на 75,3% до 0,41 кВт·год/т, а продуктивність склала 1,12 т/год.

Список використаних джерел

1. Колісник С. Ю. Підвищення ефективності роботи шнеково-лопатевого змішувача сипких кормів : магістерська робота / С. Ю. Колісник. – Дніпровський ДАТУ, 2020. – 98 с.
2. Кравчук В. М. Механізація процесу виробництва комбікормів на фермі з дослідженням процесу змішування : дипломна робота / В. М. Кравчук. – НУБіП України, 2023. – 84 с.
3. Дяченко Л. С. Основи технології комбікормового виробництва : навч. посіб. / Л. С. Дяченко, В. С. Бомко, Т. Л. Сивик. – К. : Аграрна освіта, 2015. – 192 с.
4. Макаринська А. В. Науково-технічні основи удосконалення технології збагачення комбікормів БАР : дис. канд. техн. наук / А. В. Макаринська. – Харків, 2021. – 198 с.
5. Артамаш. Правила приготування однорідного комбікорму [Електронний ресурс] / Артамаш. – Режим доступу: <https://artamash.ua>
6. ТОВ «Агро-СіМо-Машбуд». Технологія виробництва комбікормів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://asim.org.ua>
7. Riela Україна. Технологія приготування комбікормів з використанням мобільних агрегатів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://riela.com.ua>

8. Wikipedia. Mixing (process engineering) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mixing_\(process_engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mixing_(process_engineering))
9. Wikipedia. Feed manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Feed_manufacturing
10. Wikipedia. Feed mixer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Feed_mixer
11. Nakayama Y. Effects of pitched tips of novel kneading disks on melt mixing in twin-screw extrusion / Y. Nakayama, T. Kanai // *International Polymer Processing*. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 359–367.
12. Nakayama Y. Melt-Mixing by Novel Pitched-Tip Kneading Disks in Co-Rotating Twin-Screw Extruder / Y. Nakayama et al. // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2010. – Vol. 118. – P. 2401–2410.
13. Nakayama Y. Improving mixing characteristics with a pitched tip in twin-screw kneading elements / Y. Nakayama, K. Aoyama // *Advances in Polymer Technology*. – 2018. – Vol. 37. – P. 2725–2734.
14. Hodgson D. J. M. Granulation and suspension rheology of cohesive powders / D. J. M. Hodgson et al. // *Powder Technology*. – 2019. – Vol. 343. – P. 213–224.
15. Зубець М. В. Інноваційний розвиток аграрного сектору / М. В. Зубець. – К. : НААН, 2021. – 221 с.