

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПИСАРЕНКО АРТЕМ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 664.712

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ПРИГОТУВАННЯ СУХИХ РОЗСИПНИХ КОМБІКОРМІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Писаренко А.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Писаренко Артем Володимирович. Удосконалення технологічного процесу приготування сухих розсипних комбікормів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі на підставі уточненої класифікації змішувачів кормів та аналізу результатів наукових досліджень розроблено нову конструктивно-технологічну схему шнекового змішувача періодичної дії для сухих розсипних комбікормів з активним каналом зворотного ходу

Прийнята конструктивно-технологічна схема змішувача дозволяє інтенсифікувати процес взаємопроникнення компонентів кормової суміші за рахунок поділу та з'єднання потоків кормової суміші на ділянці пересипання.

За результатами проведення багатофакторного експерименту були отримані рівняння регресії, що описують вплив досліджуваних факторів на якість суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації та питомі витрати енергії: визначено мінімальні значення критеріїв оптимізації в межах дослідження – питомі витрати енергії на процес змішування – 1491 Вт·с/кг, неоднорідність суміші – 5,98%; раціональні значення параметрів змішувача: частота обертання шнека $n_{ш1} = 3,5 \text{ с}^{-1}$, час змішування $\tau_{см} = 180 \dots 240 \text{ с}$; кут нахилу шнека до горизонту = 30 град; при раціональних значеннях параметрів питомі витрати енергії будуть у межах 1491...2628 Вт·с/кг, неоднорідність суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації – 10...5,98%, продуктивність – 6,73 кг/с.

Ключові слова: корма, змішувач, технологічний процес, неоднорідність, продуктивність, шнек.

ANNOTATION

Artem Volodymyrovych Pisarenko. Improving the technological process for the preparation of dry loose compound feed. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, on the basis of the refined classification of feed mixers and the analysis of the results of scientific research, a new structural and technological scheme of a screw mixer of periodic action for dry loose compound feed with an active return channel was developed

The adopted design and technological scheme of the mixer allows to intensify the process of interpenetration of the components of the feed mixture due to the separation and connection of the flows of the feed mixture in the overflow area.

According to the results of the multifactorial experiment, regression equations were obtained that describe the influence of the studied factors on the quality of the mixture, which is evaluated by the coefficient of variation and specific energy consumption: the minimum values of the optimization criteria within the scope of the study were determined - specific energy consumption for the mixing process – 1491 W·s/kg , mixture heterogeneity – 5.98%; rational values of mixer parameters: screw rotation frequency $n_{\text{III}} = 3.5 \text{ s}^{-1}$, mixing time $\tau_{\text{CM}} = 180...240 \text{ s}$; angle of inclination of the auger to the horizon = 30 degrees; with rational parameter values, the specific energy consumption will be within 1491...2628 W·s/kg, the heterogeneity of the mixture, estimated by the coefficient of variation, is 10...5.98%, the productivity is 6.73 kg/s.

Key words: feed, mixer, technological process, heterogeneity, productivity, auger.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СУХИХ СИПУЧИХ КОМБІКОРМІВ В УМОВАХ НЕВЕЛИКИХ ГОСПОДАРСТВ.....	10
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЗАПРОПОНОВАНОГО ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Світовий досвід сільськогосподарського виробництва показує, що його ефективність багато в чому залежить від використання передових технологій виробництва сільськогосподарської продукції, оснащеності господарств машинами, їхнього технологічного рівня, надійності та якості.

Технологічна модернізація шляхом реконструкції та розширення існуючих ферм з максимальним використанням інфраструктури, що збереглася, дозволяє не тільки заощадити кошти, а й зберегти і відновити сільські території, розташовані навколо існуючих ферм.

Комбікормова промисловість – важлива галузь. У розвинених країнах виробництво комбікормів забезпечується як великими промисловими підприємствами так і мережею дрібних.

Більшість комбікормового обладнання було розроблено і орієнтовано на великі промислові заводи. Конструктивне виконання окремих машин та обладнання розраховане на багаторівневий (заводський) варіант їх розміщення та не можуть бути ефективно використані у невеликих господарствах.

У сучасних умовах економічно доцільно максимально наближати виробництво комбікормів до споживача. При цьому повинні використовуватися малоенергоємні технічні засоби, місцева сировина і всі технологічні прийоми, що сприяють високопродуктивній дії комбікормів.

Збільшення внутрішньогосподарського виробництва комбікормів пов'язані з можливістю швидкої реалізації практично без істотних державних інвестицій. Протягом найближчого десятиліття прогнозується збільшення виробництва комбікормів більш ніж у 2 рази, при цьому їх виробництво безпосередньо у господарствах становитиме близько 46 % від загального валового обсягу виробництва.

Перенесення виробництва безпосередньо до джерела сировини та споживача продукції зменшує витрати на транспортування та зберігання продукції в 5...10 разів. При такому розміщенні забезпечується тісний взаємозв'язок між виробництвом сировини її переробкою та споживанням. При цьому істотно знижується вартість комбікормів за рахунок використання власної більш дешевої сировини, найбільш повно та оперативно враховуються індивідуальні потреби у годівлі різних видів та статево-вікових груп тварин, забезпечується власний контроль якості комбікормів, причому на стадії його приготування.

Особлива увага на комбікормових підприємствах приділяється якості комбікормів та індивідуальності рецептури годівлі різних видів та статево-вікових груп тварин.

У техніки, що поставляється вітчизняною промисловістю, низькі показники якості. Її конкурентоспроможність на ринку зберігається переважно за ціновими параметрами.

Застосування застарілих технологій та обладнанням пов'язане з підвищенням питомих витрат енергії, капіталовкладень та собівартості продукції. Однак застосування більш якісних і при цьому дорожчих комбікормів виправдано за рахунок зниження їх витрати на одиницю продукції, збільшуючи продуктивність тварин. Проблема зниження енергоємності під час виробництва повнораціонних комбікормів високої якості є визначальною ефективності всього комбікормового виробництва [2].

Якість суміші визначається точністю дозування компонентів та рівномірністю їх розподілу по всьому об'єму суміші [6]. Змішувачі періодичної дії, особливо при ваговому дозуванні, забезпечують належну якість суміші, проте спостерігаються високі енерговитрати. Змішувачі безперервної дії вимагають суттєво менших енерговитрат, проте не всі вони дотримуються рецептури суміші. Викликає складнощі перехід на новий рецепт. Найбільш популярні зараз змішувачі періодичної дії [6, 7].

Багатокомпонентність комбікормів, високі вимоги до якості, обумовлюють складність вибору ефективного технологічного устаткування їх змішування. Створення умов для інтенсифікації процесу змішування компонентів комбікормів та застосування ефективних методів на компоненти є найважливішим завданням розвитку та вдосконалення комбікормового обладнання [8]. Така задача може бути вирішена впровадженням прогресивного технологічного обладнання на базі нових конструкцій робочих органів, що дозволяють інтенсифікувати процес змішування компонентів комбікормів у змішувачі періодичної дії.

Тому вдосконалення та розробка конструкції змішувального агрегату, визначення раціональних параметрів та режимів роботи шнекових змішувальних робочих органів, що забезпечують зниження питомих енерговитрат, при дотриманні показників якості є актуальним народногосподарським завданням.

Як **робоча гіпотеза** при вирішенні науково-технічної задачі підвищення ефективності змішувачів кормів є припущення про те, що застосування змішувача періодичної дії зі шнековим робочим органом та активним каналом зворотнього ходу за рахунок складного руху кормової суміші забезпечить високу якість змішування, знизить питомі витрати енергії на процес приготування порції кормової суміші.

Мета роботи. Зниження питомих витрат енергії в шнековому кормозмішувачі за рахунок інтенсифікації взаємопроникнення інгредієнтів, удосконалення робочого органу та оптимізації його параметрів.

Завдання досліджень:

виконати експериментальні дослідження з вивчення впливу частоти обертання робочих органів, часу змішування та кута встановлення корпусу до горизонту на показники якості та енерговитрат технологічного процесу змішувача та оптимізації його конструктивно-технологічних та режимних параметрів;

розробити дослідний зразок змішувача кормів, випробувати його у виробничих умовах.

Об'єкти досліджень. Технологічний процес змішування сухих компонентів розсипних комбікормів в змішувачі з активним каналом зворотнього ходу.

Предмет дослідження. Закономірності зміни питомих витрат енергії процесу та якості суміші від параметрів робочих органів та режимів змішування сухих розсипних комбікормів змішувачем з активним каналом зворотнього ходу.

Методи дослідження. Запропоновані робочі органи шнекового змішувача комбікормів досліджувалися у лабораторних та виробничих умовах відповідно до діючих ДСТУ, розроблених приватних методик з використанням сертифікованих приладів та обладнання.

Результати досліджень оброблялися з використанням методів дисперсійного та регресійного аналізу на ПЕОМ програмами "MathCAD 14", "Excel 2007", "Компас 3DV16".

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., Писаренко А. В. Результати дослідження подачі та потужності на привід шнека. Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 54-56.

2. Савченко В. М., Писаренко А. В. Обґрунтування технології для приготування сухих сипучих комбікормів в умовах невеликих господарств. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 332-239.

3. Писаренко А. В. Опис конструктивно-технологічної схеми запропонованого шнекового змішувача з активним каналом зворотнього ходу.

Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 259.

Практичне значення одержаних результатів. Використання шнекових змішувачів періодичної дії з активним каналом зворотнього ходу з рекомендованими раціональними режимами та параметрами налаштування змішувача при виробництві сухих розсипних комбікормів в умовах невеликих фермерських господарств забезпечують виконання технологічного процесу відповідно до зоотехнічних вимог і знижені питомі витрати енергії. Крім того, результати досліджень можуть бути використані при розробці нових конструкцій змішувачів у науково-дослідних та проектних інститутах.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 37 сторінок комп'ютерного тексту, містить 15 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СУХИХ СИПУЧИХ КОМБІКОРМІВ В УМОВАХ НЕВЕЛИКИХ ГОСПОДАРСТВ

У виробництві складних кормів на великих спеціалізованих фабриках значною часткою витрат є транспортні витрати на транспортування сировини та готової продукції. Наслідком цього є зростаюча концентрація виробництва складних комбікормів у внутрішньогосподарських підприємствах.

Відмінності в раціонах харчування різних вікових груп тварин потребують частих та швидкого переналаштування технологічного обладнання для виробництва корму.

Для ефективного використання існуючої сировини на внутрішньогосподарських підприємствах (зернових та олійних культур, білкових компонентів, мінеральних компонентів) необхідно збалансувати її з збагаченими добавками. Часто на фермі виникає необхідність застосовувати лікарські засоби в кормах.

В умовах внутрішньогосподарських підприємств на комбікорма відповідно до зоотехнічних вимог впливає можливість швидкого контролю за якістю під час виконання технологічних операцій та можливості введення необхідного коригування в роботу технологічного обладнання на стадії приготування кормів.

Важливим фактором, який визначає вартість відповідного корму, є використання обладнання, яке задовольняє вимоги збереження ресурсів при забезпеченні необхідної якості продукції. У фермерських господарствах комбікорм виготовляють за спрощеною технологічною схемою: очищення сировини зерна від сторонніх домішок; шліфування; дозування окремих компонентів відповідно до вибраного рецепту, змішування; зберігання.

Створенням комбікормових виробництв займалися фахівці багатьох навчальних та науково-дослідних інститутів. У цих дослідженнях були розроблені технологічні схеми, агрегати, що передбачають поточність

виробництва, мінімальну тривалість технологічного циклу, комплексну механізацію та автоматизацію процесів, сучасний контроль якості на основних ділянках виробництва (прийом сировини, подрібнення, дозування, змішування та ін.), облік сировини та продукції, ефективне використання технологічного, енергетичного та іншого обладнання, оперативне управління, захист довкілля, сприятливі умови праці, відповідність протипожежним вимогам.

За призначенням комбікормові підприємства класифікуються: за призначенням – на локальні (для окремих господарств) та міжгосподарські; за продуктивністю – на комплексні та спеціалізовані.

Комплексні комбікормові підприємства призначені для виробництва:

- комбікормів-концентратів у розсипному та гранульованому видах з лінією післязбиральної обробки та зберігання фуражного зерна продуктивністю від 2,0 до 4,0 т/год – для окремих господарств та від 2,0 до 16,0 т/год – для міжгосподарських підприємств;

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

Спеціалізовані комбікормові підприємства, призначені для виробництва:

- повнораціонних комбікормів та комбікормів-концентратів у розсипному та гранульованому видах продуктивністю від 0,5 до 4,0 т/год – для окремих господарств та від 2,0 до 12,0 т/год – для міжгосподарських підприємств;

- брикетованих та гранульованих кормів продуктивністю від 1,5 до 6,0 т/год – для локальних та міжгосподарських підприємств.

Приготування сухої розсипної кормосуміші безпосередньо в господарствах включає дві (дозування + змішування) або три (дозування + подрібнення + змішування) операції.

Високу якість комбікормів одержують за одним із наступних варіантів організації технологічного процесу:

- кожен вид сировини готується окремо та дозується на заключному етапі (одноетапне подрібнення – одноетапне дозування);

- суміш компонентів попередньо формується з наступним двоетапним дозуванням;
- спільна переробка сировини, що включає подрібнення, підготовку інших компонентів з одноетапним дозуванням (багатокомпонентне подрібнення – одноетапне дозування);
- дозування всіх видів сировини та їх спільною переробкою (одноетапне дозування – багатокомпонентне подрібнення).

Передбачено такі технологічні лінії: - підготовка зернової сировини; лущення плівчастих культур; підготовка мінеральної сировини; приготування збагачувальних добавок; підготовки та введення рідких компонентів; дозування та змішування – об'ємне та вагове дозування з похибкою не більше 3%; гранулювання.

У ННЦ «ІМЕСГ» розроблено схему отримання комбікорму в сільськогосподарському підприємстві на основі повнораціонних кормосумішей з можливістю використання зернових, бобових, олійних культур, а також зелених, соковитих та грубих кормів.

У розробленій схемі можна виділити два граничні варіанти отримання господарством комбікорму: придбання виробленого спеціалізованим підприємством комбікорму; виробництво комбікорму на внутрішньогосподарському підприємстві з максимальним використанням власної сировинної бази та закупівлею на ринку відсутніх компонентів.

Другий варіант дозволяє оперативно реагувати на запити тваринницької галузі, що змінюються шляхом відповідного переналаштування технологічного процесу. При цьому максимально використовується сировина власного виробництва з реальною можливістю здешевлення вироблених кормосумішей за рахунок удосконалення технологічних процесів заготівлі вихідних компонентів та приготування кормів.

Прикладом можуть бути розроблені проектним інститутом цехи для приготування повнораціонних комбікормів безпосередньо в господарствах та

міжгосподарських об'єднаннях із зерна власного виробництва та білково-вітамінних добавок промислового виготовлення – ОЦК-4, ОКЦ-4, ОКЦ-15, ОКЦ-30.

Трьохопераційний агрегат *BLOUNT* фірми *DANNENBERGGMBH* включає молоткову зернодробарку закритого типу, блок гвинтових дозаторів, вивантажувальний і змішувальний гвинтові конвеєри (рис. 1). Структура готової суміші досягається таруванням гвинтових дозаторів.

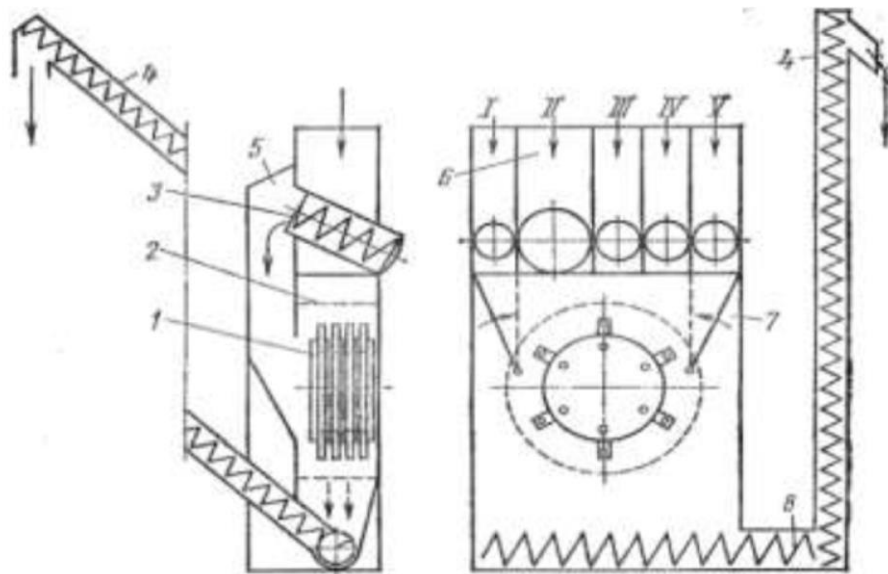


Рис. 1.1. Схема комбікормового агрегата *BLOUNT*: 1 – молотковий ротор дробарки, 2 – решето, 3 – блок дозуючих гвинтових конвеєрів, 4, 8 – вивантажувальний конвеєр, 5 – кришка, 6- наддозатрні бункери, 7 – перекидні заслінки.

Як приклад також можна навести комплекси з приготування повнораціонних комбікормів із 4 – 6-зернових компонентів з додаванням готових БВМК: комплекси КПК та ККУ; лінія приготування кормосумішей (ЛПК-2); млин (*Agrex Mix*); установки для приготування комбікормів (Р6-КПК; Р6-КПК; КК-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, транспортер шнековий ТШ, сепаратор для попереднього очищення зерна СА, електронний ваговий пристрій.

Комплекс приготування розсипного комбікорму (КВО) забезпечує від 1350 до 5500 голів ВРХ із багатокомпонентної суміші для кожної групи тварин на одній лінійці обладнання. Дозування компонента, що завантажується пневматично дробаркою, проводиться за попередньо занесеному рецепту на пам'ять пристрою Агродоз-123 їх послідовним завантаженням. Введення попередньо зважених на терезах добавок проводиться через завантажувальний патрубок у нижній частині змішувача. Рідкі добавки подаються до патрубків за допомогою жирової машини або самопливом. Після завантаження останнього компонента комбікорму змішування триває близько 5-7 хвилин.

Лінія приготування кормосумішей (ЛПК-2) призначена для тваринницьких господарств або підприємств, що випускають багаторецептурні комбікорми на основі 3-х і більше компонентної зернової складової та добавок з часткою до 15%, з використанням готових покупних мінерально-вітамінних добавок. Лінія складається з дробарки молоткової, змішувача, ваги, дозатора, шнека розвантажувального.

Установка для приготування комбікормів (Р6-УПК) призначена для виготовлення сухих сипучих комбікормів різних рецептур на основі всіх видів зернових культур, у тому числі олійних, а також лушпиння круп'яних культур, гранул, шроту, макухи та інших сипучих кормів і харчових матеріалів, біовітаміно-мінеральних добавок в умовах тваринницьких фермерських господарств. Установка виготовляється у двох виконаннях: Р6-УПК.00 і Р6-УПК.01 – і є комплексом малогабаритного дробильного, змішувального, транспортного, фільтруючого обладнання.

Установка для виробництва комбікормів (УК-2) (рис. 1.2) призначена для приготування в умовах господарств розсипних комбікормів із власного зерна та покупних білково-вітамінних та мінеральних добавок.

Має ваговимірвальний механізм, здійснює подрібнення та змішування кормових матеріалів. Обслуговується однією людиною.

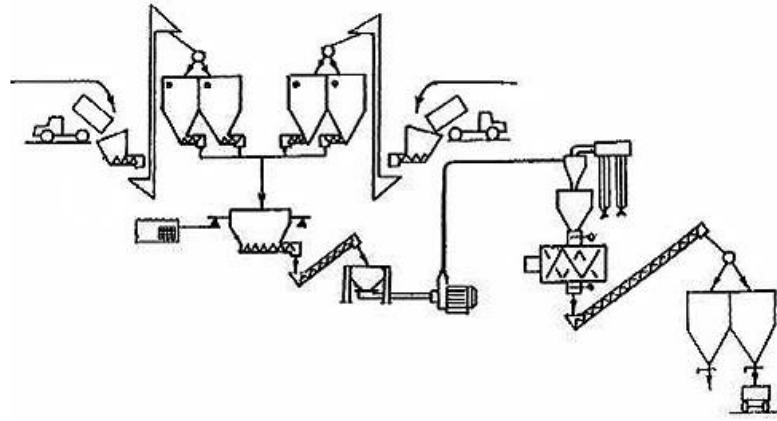


Рис. 1.2. Установа для виробництва комбікормів (УК-2)

Конструкція млина (Agrex Mix) дозволяє дробити та змішувати різні типи зернових за умови, що їх вологість не перевищує 15%. Залежно від розміру сіток, отримують корми різного фракційного складу. Виробляються у стаціонарному та мобільному варіантах.

Наближення виробництва комбікормів до джерел сировини та місць споживання дозволяє більш повно та раціонально використовувати сировину самих господарств, дає можливість скоротити транспортні витрати на перевезення вихідної сировини та готової продукції. Таке виробництво отримання комбікорму є низьковитратним і не вимагає купівлі дорогого обладнання для комбікормових цехів. Для умов конкретного сільгосп підприємства можливо використання наявного обладнання та машин у даному господарстві. Застосування кормів власного виробництва забезпечує зниження витрат за одиницю тваринницької продукції на 15-20%.

Наявні в господарствах приміщення найчастіше не відповідають санітарним вимогам та нормам безпеки, а будівництво нових будівель потребує часу та значних фінансових витрат. Тому раціональним є компонування модулів у контейнерах (рис. 1.3), розміри яких дозволяють транспортувати автотранспортом. Це дозволить здійснювати всі роботи зі збирання, комплектування та налагодження обладнання на підприємстві-виробнику.

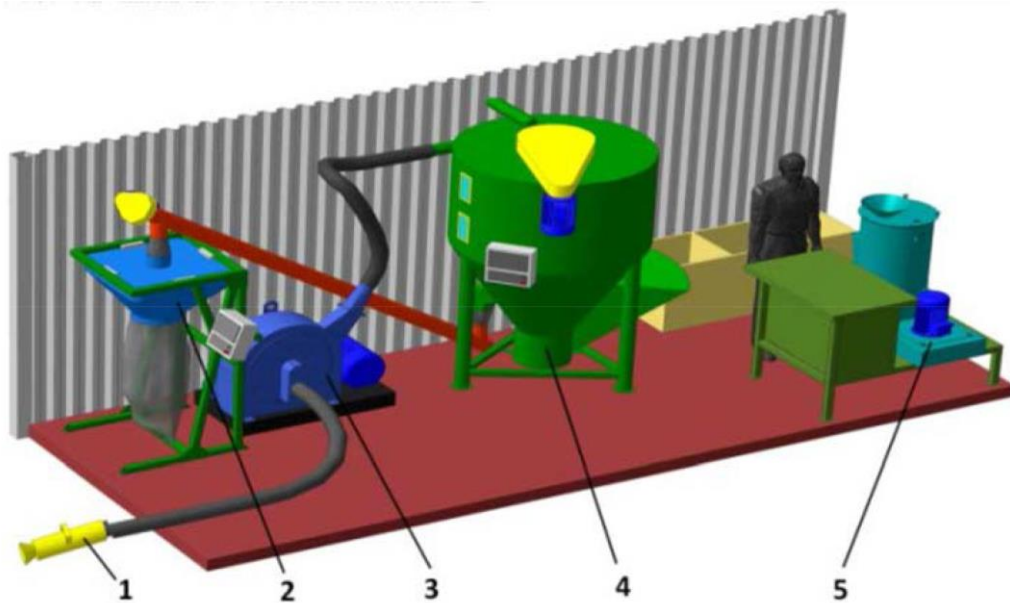


Рис. 1.3. Модуль виробництва комбікорму, змонтований у контейнері: 1 – пневморукав для завантаження зернових компонентів; 2 – затарювач готової продукції АЗК-2; 3 – дробарка ДМ-3; 4 – змішувач УСК-1,5; 5 – змішувач преміксів СВ-40.

Блочно-модульне формування структури комбікормових цехів забезпечує можливість 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, СВЧ-обробки, експандування та гранулювання, що утворюють додаткові модулі. Одним із прикладів є внутрішньогосподарська технологічна лінія виробництва комбікормів (рис. 1.4). Технічна характеристика внутрішньогосподарської технологічної лінії виготовлення 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.

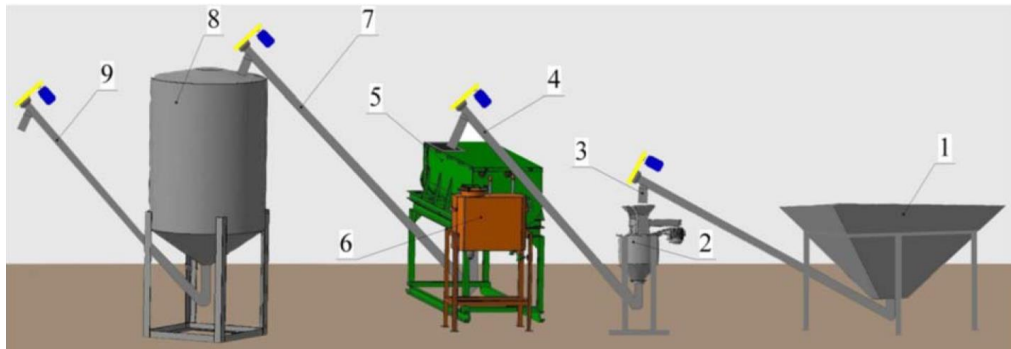


Рис. 1.4. Загальний вигляд внутрішньогосподарської технологічної лінії приготування комбікормів: 1 – бункер із вивантажувальним шнеком АП100.1; 2 – дробарка вертикальна ВД-1; 3 – трійник шнека; 4 – шнек для подачі подрібнених компонентів; 5 – змішувач компонентів комбікормів СК-15Н; 6 – пристрій для введення рідких добавок; 7 – шнек для видачі змішаних компонентів; 8 – бункер готової продукції; 9 – шнек для видачі готового комбікорму

Технологічна лінія приготування комбікормів з додатковим блоком експандування передбачає введення меляси за допомогою модуля для введення рідких та жирових компонентів (рис. 1.5).

Застосування мобільних багатофункціональних змішувачів-роздавачів кормів дозволить знизити витрату електроенергії на 20% та витрати праці – на 30%. Але визначальну роль в цьому варіанті грає вартість повнораціонного комбікорму приготовленого на спеціалізованому комбікормовому заводі з покупних компонентів.

У ННЦ «ІМЕСГ» розроблений агрегат комбікормовий мобільний АКМ-3М із приводом від ВОМ трактора (рис. 1.6). Агрегат дозволяє завантажувати та подрібнювати зернові компоненти, змішувати їх з преміксами та БМВС, транспортувати та видавати отриману кормосуміш у годівниці, транспортні засоби та склади. Його продуктивність при приготуванні комбікормів до 2,5 т/год, на змішуванні і роздачі кормосумішей – до 8 т/год, агрегується з тракторами класу 0,9 – 1,4 кН.

Застосування мобільного комбікормового агрегату дозволяє виключити капіталовкладення у стаціонарний комбікормовий цех, що скорочує витрати на організацію комбікормового виробництва у господарстві у 3,5-4,0 рази.

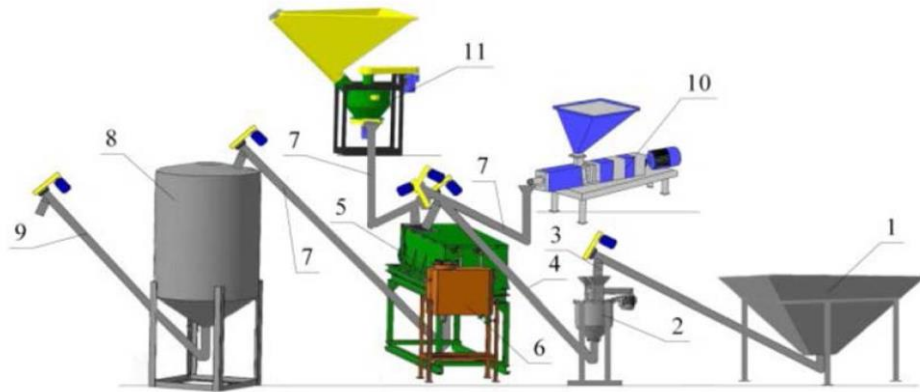


Рис. 1.5. Технологічна лінія приготування комбікормів із додатковим блоком експандування: 1 – бункер-живильник; 2 – дробарка вертикальна ВД-1; 3 – трійник шнека; 4 – шнек подачі подрібненого компонента; 5 – змішувач кормів СК-15Н; 6 - пристрій для введення рідких добавок; 7 – шнек видачі кормової суміші; 8 – бункер для готової продукції; 9 – шнек видачі готового комбікорму; 10 – прес-експандер ЕК-75; 11 – подрібнювач зеленої маси ІЗК-4.



Рис. 1.6. Агрегат комбікормовий мобільний АКМ-3М: 1 – змішувач; 2 – ходова частина; 3 – вивантажувальне вікно із заслінкою та скатним лотком; 4 – привід змішувача; 5 – дробарка зерна; 6 – контрпривід; 7 – клинопасова передача; 8 – карданний вал; 9 – всмоктувальний рукав; 10 – нагнітальний трубопровід

У всіх розглянутих технологічних схемах однією з основних операцій процесу приготування якісних кормових сумішей є змішування компонентів. Результуючим параметром, що визначає на заключному етапі якість готового корму, є однорідність кормосуміші. Відповідно до зоотехнічних вимог, однорідність суміші повинна становити не менше 90 – 95 %.

Висновки по розділу

Проведений аналіз конструкцій малогабаритних комбікормових агрегатів та їх класифікація свідчать про велику різноманітність конструкцій, а також про те, що робочий процес, в силу своєї складності, недостатньо вивчений і вимагає подальших досліджень.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЗАПРОПОНОВАНОГО ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис конструктивно-технологічної схеми запропонованого шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу

В основу конструктивно-технологічної схеми кормозмішувача були покладені наступні рішення:

- змішуючий орган виготовлений у вигляді шнека, завантажувальна і вивантажувальна частини якого з'єднані каналом зворотнього ходу;
- усередині каналу зворотнього ходу встановлено додатковий шнек з валом, що має ділянку пересипання з плоскими лопатками вздовж валу; навпроти лопаток в каналі зворотнього ходу є отвори у вигляді щілин шириною, що перевищує розмір характерних частинок корму;
- навпроти отворів у каналі зворотного ходу на валу шнека встановлені плоскі лопатки;
- наприкінці шнека закріплені тангенційно лопаті з нахилом назустріч руху корму;
- механізм зміни кута нахилу корпусу до горизонту.

Пропонується тихохідний змішувач із активним каналом зворотного ходу. Схеми цього змішувача наведено на рис. 2.1

Змішувач включає корпус 1, завантажувальний бункер 19, бункер добавок 8 і вивантажувальний патрубок 11, що перекривається заслінкою 12, шнек 4, завантажувальна 15 і вивантажувальна частина 10 якого з'єднані каналом 5 зворотнього ходу, розміщеного всередині шнека 4 (рис. 2.2, а, б, в). Всередині каналу зворотнього ходу 5 встановлений додатковий шнек 6 з валом 18, має ділянку 2 пересипання з плоскими лопатками 3 вздовж валу 18.

Навпроти лопаток 3 каналі 5 зворотнього ходу є вікна 13 у вигляді щілин шириною, що перевищує розмір характерних частинок корму. Навпроти вікон 13 на валу шнека 4 встановлені плоскі лопатки 20.

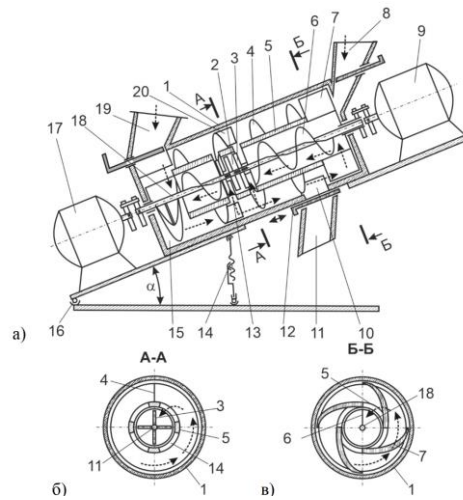


Рис. 2.1. Шнековий змішувач з активним каналом зворотного ходу: а – схема; б – розріз А-А; в – розріз Б-Б, 1 – корпус; 2 – ділянка пересипання; 3 – лопатки; 4 – шнек; 5 – канал зворотнього ходу; 6 – додатковий шнек; 7 – тангенціальні лопатки; 8 – бункер добавок; 9, 17 – приводи; 10 – вивантажувальна частина шнека; 11 – вивантажувальний патрубок; 12 – заслінка; 13 – вікна; 14 – гвинтовий механізм; 15 – завантажувальна частина шнека; 16 – вісь; 18 – вал; 19 – завантажувальний бункер; 20 – плоскі лопатки.

В кінці шнека 4 закріплені тангенціальні лопаті 7 з нахилом назустріч руху корму. Механізм зміни кута α нахилу корпусу 1 до горизонту включає встановлений на осі 16 корпус 1 і гвинтовим механізмом 14.

Для вивантаження корму є патрубок 11, що перекривається заслінкою 12. Шнек 4 і додатковий шнек 6 мають приводи 9 і 17 відповідно. Технологічний процес роботи змішувача здійснюється в такий спосіб. Компоненти з багатосекційного завантажувального бункера 19 надходять в завантажувальну частину 15 корпусу 1.

У вивантажувальній частині 10 шнека 4 кормова суміш піднімається тангенціальними лопатями 7 і пересипається в канал 5 зворотнього ходу. Для виключення сегрегації при мимовільному пересипанні корму величина кута

нахилу корпусу 1 встановлюється гвинтовим механізмом 14 менше кута тертя корму. Переміщення компонентів корму всередині каналу 5 зворотнього ходу від вивантажувальної частини 10 до завантажувальної частини 15 відбувається під дією даткового шнека 6 і обертання каналу 5 зворотнього ходу.

На ділянці 2 пересипання під дією лопаток 3 корм перемішується з компонентами, що надходять через вікна 13 кормом з шнека 4 і по каналу 5 зворотнього ходу переміщається в завантажувальну частину 15 шнека 4.

Таким чином утворюються два циркулюючих і взаємоперетинаючих кормових потоку: перший потік – від завантажувальної частини шнека 4 до вікон 13, через які на ділянці 2 пересипання додаткового шнека 6 і потім додатковим шнеком до завантажувальної частини шнека 4; другий потік – від завантажувальної частини шнека 4 до тангенціальних лопаток 7, під дією яких корм пересипається в додатковий шнек 6 і потім додатковим шнеком до завантажувальної частини шнека 4.

Після закінчення перемішування відкривається заслінка 12 і готова суміш вивантажується через патрубок 11.

В результаті прийнятої схеми змішувача знижується час змішування за рахунок поділу та з'єднання потоків кормової суміші на ділянці пересипання при русі по каналу зворотнього ходу під дією лопаток у додатковому шнеку та вікон у каналі зворотнього ходу, а також взаємопроникненню потоків матеріалу при русі кормосуміші під дією шнека від ділянки завантаження до ділянки вивантаження.

2.2. Методика дослідження раціональних конструктивно-режимних параметрів шнекового змішувача з активним каналом зворотнього ходу

Для проведення експериментів була розроблена експериментальна установка шнекового змішувача періодичної дії з активним каналом зворотнього

ходу (рис. 2.2, 2.3, 2.4). Конструкція цієї установки дозволяє змінювати досліджувані параметри та режими роботи змішувача в необхідних межах

При відкритті завантажувальної заслінки заповнення корпусу змішувача кормовою сумішшю здійснюється під дією шнека. Вивантаження кормової суміші з корпусу змішувача також здійснюється під дією шнека при відкритті вивантажувальні заслінки.

Час циклу і тривалість отримання якісної суміші визначаються ефективністю роботи шнека, що подає компоненти кормової суміші від зони завантаження на ділянки пересипання та тангенціальних лопаток.

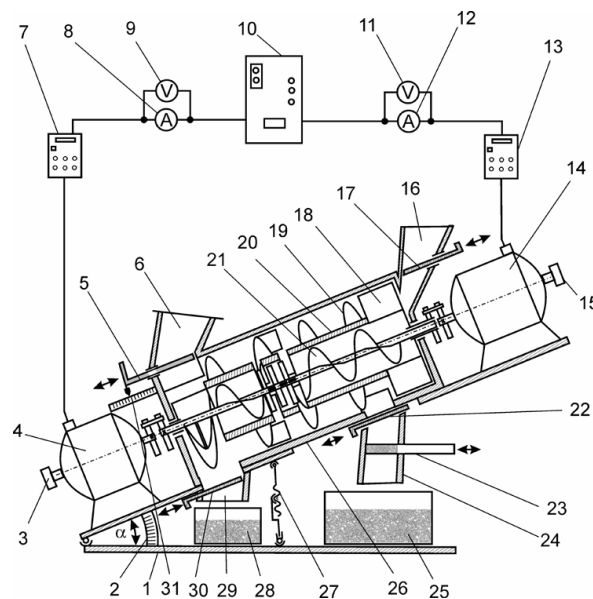


Рис. 2.2. Схема експериментальної установки шнекового змішувача з активним каналом зворотнього ходу: 1 – рама; 2 – кутомір; 3, 15 – тахометр; 4 – привід шнека; 5, 17, 22, 30 – заслінка; 6 – бункер наповнювача; 7, 13 – частотний перетворювач; 8, 12 – амперметр; 9, 11 – вольтметр; 10 – пульт керування; 14 – привід додаткового шнека; 16 – бункер контрольного компонента; 18 – тангенціальні лопатки; 19 – шнек; 20 – канал зворотнього ходу; 21 – додатковий шнек; 23 – пробовідбірник; 24, 29 – вивантажувальний патрубков; 25, 28 – ємність; 26 – корпус змішувача; 27 – гвинтовий механізм; 31 – шкала

У порційних шнекових змішувачах при горизонтальному розташуванні шнека коефіцієнт заповнення знаходиться в межах 0,3...0,4, а при вертикальному – 0,7...0,8

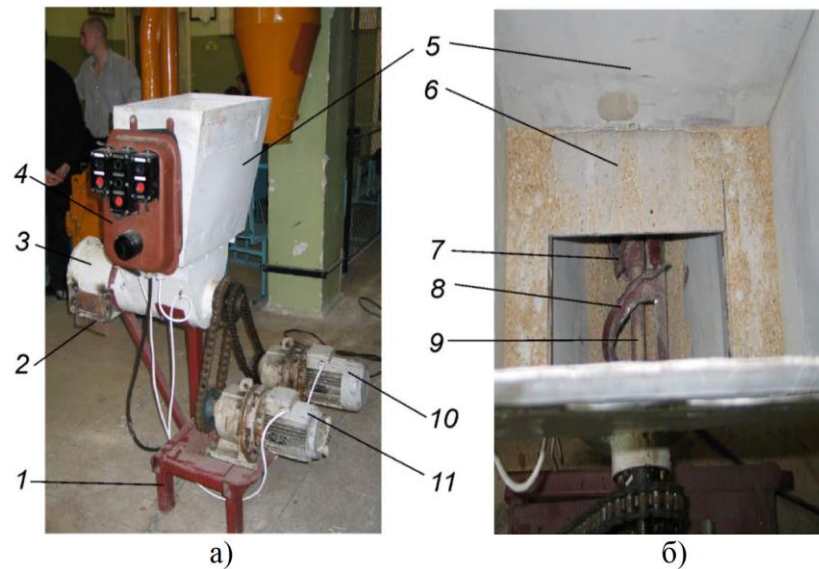


Рис. 2.3. Загальний вигляд експериментальної установки шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу: а) загальний вигляд змішувача; б) завантажувальна частина шнека; 1 – рама; 2 – вивантажувальний патрубок; 3 – корпус; 4 – пульт; 5 – бункер; 6 – заслінка; 7 – додатковий шнек; 8 – шнек; 9 – вал; 10 – привід додаткового шнека; 11 – привід шнека.

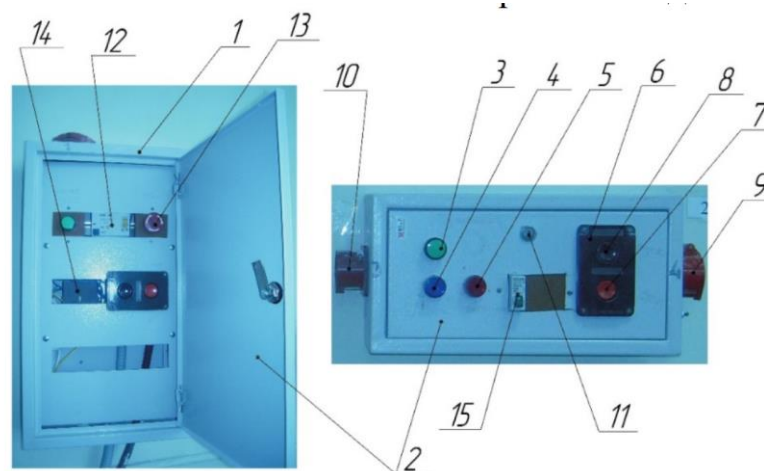


Рис. 2.4. Пульти управління : 1 – ящик; 2 – дверцята; 3, 4, 5 – лампочки індикації: зелена, синя, червона; 6 – блок кнопок; 7 – кнопка «Пуск»; 8 – кнопка «Стоп»; 9 – розетка; 10 – вилок; 11 – замок; 12 – пристрій захисного відключення; 13 – "стоп-грибок"; 14 – магнітний пускач; 15 – автомат відключення.

Найбільший вплив на якість суміші має зміна окружної швидкості обертання шнека в межах від 0,6 до 1,5 м/с. Основою методики проведення експериментальних досліджень шнекового змішувача з активним каналом зворотнього ходу була методика планування багатofакторного експерименту.

Критерієм оптимізації за показником якості була неоднорідність суміші, що характеризується коефіцієнтом варіації.

Для контролю якості одержуваної суміші проводили визначення коефіцієнта варіації v розподілу контрольного компонента, відібраним із змішувальної ємності лабораторної установки. Маса проби становила 5 грамів, точність зважування – $\pm 0,01$ грама. Зважування проводилося за допомогою електронної ваги – ВЛКТ-500g-M. Як контрольний компонент використовувалися підфарбовані насіння буркуну, що вводяться в кількості 1% до маси готової суміші з урахуванням рекомендації.

Висновок по розділу

В другому розділ магістерської роботи представлено методику дослідження раціональних конструктивно-режимних параметрів шнекового змішувача з активним каналом зворотнього ходу.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Обґрунтування раціональних значень режимних та технологічних параметрів шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу

Після реалізації експерименту та обробки отриманих даних відповідно до описаної раніше методики були отримані поліноміальні моделі, що описують залежність коефіцієнта варіації (Y_1) (3.1) та питомих витрат енергії (Y_2) (4.2) на процес змішування від частоти обертання шнека (x_1), часу змішування порції корму (x_2) та кута нахилу корпусу змішувача до горизонту (x_3):

$$Y_1 = 10,6083 - 3,6126x_1 - 2,3685x_2 + 0,8654x_3 + 0,9091x_1^2 + 0,4396x_2^2 + 0,3003x_1x_2 + 0,4164x_1x_3 - 0,363x_2x_3 \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 1706,2 + 135,85x_1 + 469,35x_2 + 197,65x_3 + 62,875x_1^2 + 97,975x_2^2 + 156,05x_1x_2 + 79,65x_1x_3 + 61,5x_2x_3 \quad (3.2)$$

Після переходу від кодованих значень до натуральних виразів (3.1) і (3.2) набудуть вигляду:

$$N_{\text{уд.}}^T = 8233,825 - 3129,4n_{p.o} - 23,775\tau_{cm} - 93,22\alpha_n + 251,5n_{p.o}^2 + 0,0272\tau_{cm}^2 + 5,2017n_{p.o}\tau_{cm} + 31,86\alpha_n n_{p.o} + 0,2065\tau_{cm}\alpha_n \quad (3.3)$$

$$v^T = 90,1482 - 34,0404n_{p.o} - 0,0471\tau_{cm} - 0,8295\alpha_n + 3,6364n_{p.o}^2 + 0,0001\tau_{cm}^2 + 0,012\alpha_n^2 + 0,1666\alpha_n n_{p.o} - 0,0012\tau_{cm}\alpha_n \quad (3.4)$$

Дисперсійний аналіз рівнянь показав, що вони адекватно описують результати експерименту. У розрахунках прийнято рівень значимості рівний 0,95.

Розрахунки виконувались у програмі "Microsoft Excel 2007". Мінімальні значення критеріїв оптимізації в межах дослідження склали: неоднорідність

суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації – 6,2...6,4%; питомі витрати енергії на процес змішування – 820...850 Вт·с/кг,

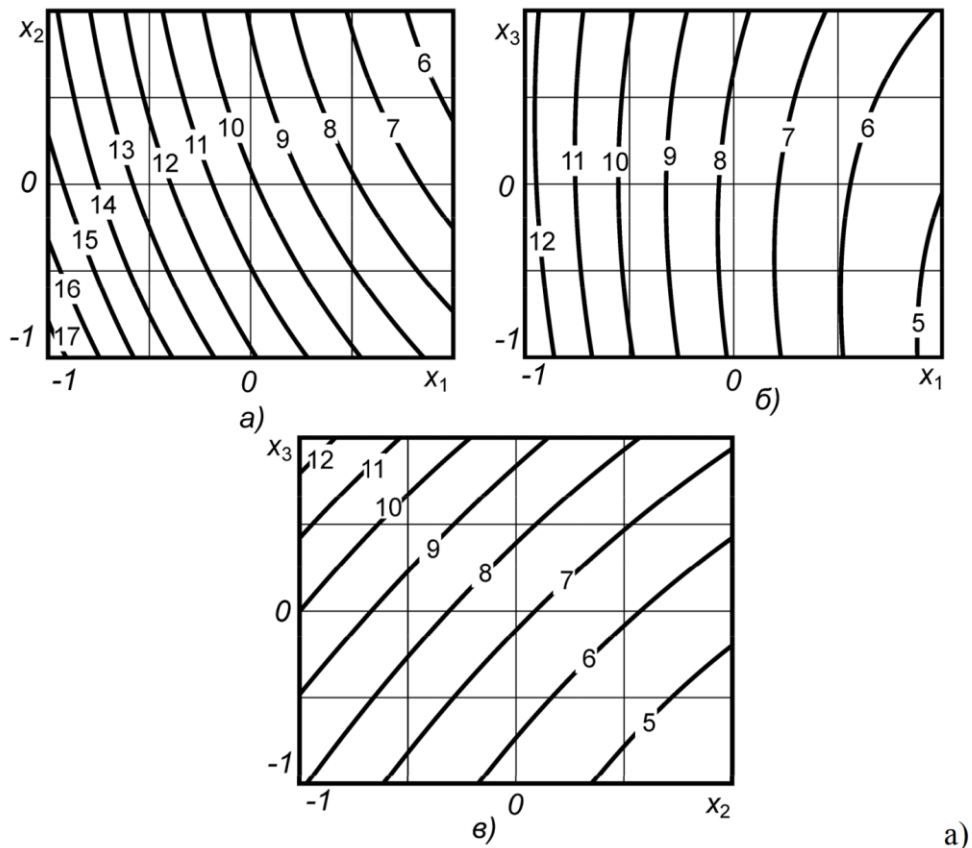
Для визначення значень режимних та технологічних параметрів змішувача у точках екстремуму скористаємося методом побудови двовимірних перерізів поверхні відгуку [3]. Для знаходження значень функції в точках екстремуму, побудови перерізів поверхонь відгуку використовували програму "Mathcad 14".

Продиференціювавши рівняння (3.1) та (3.2), взявши часткові похідні першого порядку та прирівнявши їх до нуля, отримали дві системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dx_1} = 125,75x_1 + 156,05x_2 + 79,65x_3 + 135,85 = 0 \\ \frac{dY_1}{dx_2} = 156,05x_1 + 195,95x_2 + 61,95x_3 + 469,35 = 0 \\ \frac{dY_1}{dx_3} = 79,65x_1 + 61,95x_2 + 197,65 = 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\begin{cases} \frac{dY_2}{dx_1} = 1,8182x_1 + 0,4164x_3 - 3,6126 = 0 \\ \frac{dY_2}{dx_2} = 0,8792x_2 - 0,363x_3 - 2,3685 = 0 \\ \frac{dY_2}{dx_3} = 0,4164x_1 - 0,363x_2 + 0,6006x_3 + 0,8654 = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Щодо знайдених значень збудували двомірні поверхні відгуку (рис. 3.1, 3.2), з яких видно, що зі збільшенням частоти обертання та тривалості змішування якість суміші підвищується. При цьому варто відзначити, що при зміні частоти обертання від 2,5 до 3,0 с⁻¹ при тривалості змішування 180 секунд кут нахилу шнека до горизонту істотного впливу на нерівномірність не має (рис 3.1, б). Те саме можна відзначити при встановленні кута нахилу корпусу змішувача 30 градусів при зміні частоти обертання шнека в межах від 2,5 с⁻¹ до 3,0 с⁻¹ кут нахилу корпусу змішувача істотного впливу на нерівномірність не має.



$$x_3^V = -2,012; \text{ б) } x_2^V = 1,863; \text{ в) } x_1^V = 2,448;$$

Рис. 3.1. Поверхні відгуку коефіцієнта варіації

При збільшенні частоти обертання відбувається збільшення питомих витрат енергії та зменшення коефіцієнта варіації, зі збільшенням кута нахилу корпусу змішувача та тривалості змішування відбувається поліпшення якості суміші та збільшення питомих витрат енергії при постійній частоті обертання. Зі збільшенням часу змішування якість суміші покращується з одночасним підвищенням питомих витрат енергії процесу змішування.

Зі збільшенням часу змішування та частоти обертання якість суміші покращується, при цьому відбувається збільшення питомих витрат енергії на процес (рис. 3.2, б, в).

Пошук раціональних значень параметрів зводиться до визначення таких значень, при яких буде досягнуто якість суміші, що відповідає зоотехнічним вимогам, з мінімальними питомими витратами енергії.

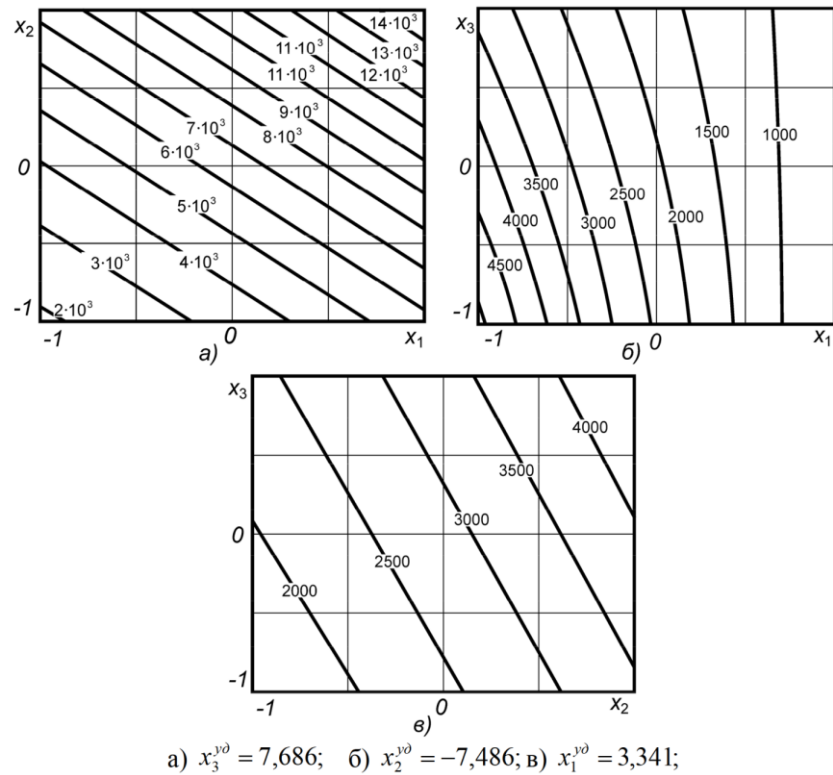


Рис. 3.2. Поверхні відгуку питомих витрат енергії

Для знаходження значень режимних та конструктивних параметрів змішувача з активним каналом зворотнього ходу, при яких досягаються значення коефіцієнта варіації не більше 10%, збудували поверхні відгуку в межах експерименту (рис. 3.3).

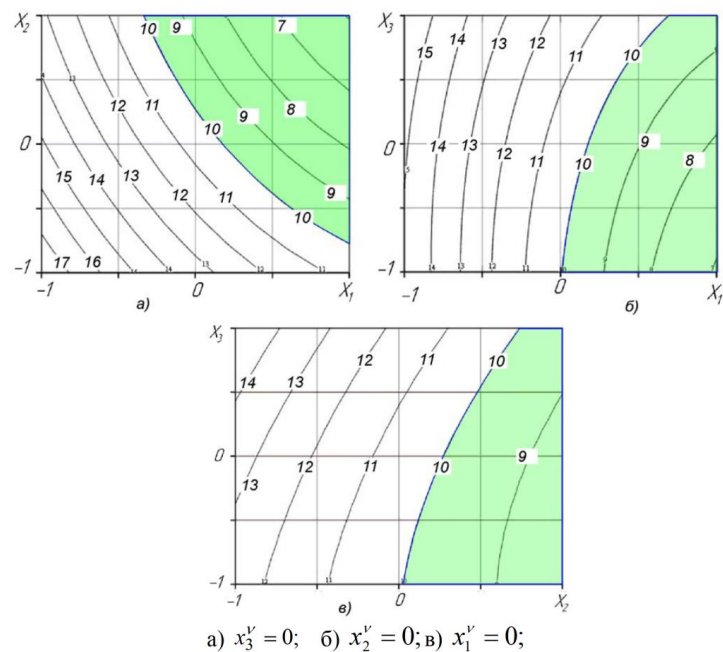


Рис. 3.3. Поверхні відгуку коефіцієнта варіації у межах

За графіками (рис. 3.3) визначили граничні значення параметрів, за яких якість суміші задовольняє зоотехнічним вимогам, та за ними розрахували за виразом (3.2) відповідні їм величини питомих витрат енергії на процес змішування.

З графіків видно, що найменше значення питомих витрат енергії, у якому суміш відповідає зоотехнічним вимогам ($v \leq 10\%$), становило 1491 Вт·с/кг у своїй продуктивності змішувача становитиме 6,73 кг/с. Найкраща якість суміші ($v=5,98\%$) буде досягнуто при значеннях частоти обертання ($3,5 \text{ с}^{-1}$), часу змішування (240 с) та вугіллі нахилу шнека рівному 30° при цьому значення питомих витрат енергії складе 2628 Вт·с/кг.

3.2. Результати дослідження подачі та потужності на привід шнека

У ході теоретичних досліджень було встановлено, що для виключення застійних зон у змішувачі необхідно виконати умову безперервності потоку на кожній із ділянок змішувача. Формування потоку кормової суміші визначається подачею шнека.

Дослідження подачі від частоти обертання шнека показано на рис. 1.

З аналізу рис. 1. можна дійти невтішного висновку, що зі зміною частоти обертання від $2,0 \text{ с}^{-1}$ до $4,0 \text{ с}^{-1}$ спостерігається зростання подачі від 0,18 до 1,9 кг/с, при цьому із зменшенням величини кута нахилу корпусу змішувача до горизонту подача зростає. Інтенсивне зниження подачі зі збільшенням кута нахилу корпусу змішувача до горизонту спостерігається при співвідношенні кроку діаметру шнека 0,8 і більше. Це пов'язано зі зниженням здатності шнека до транспортування.

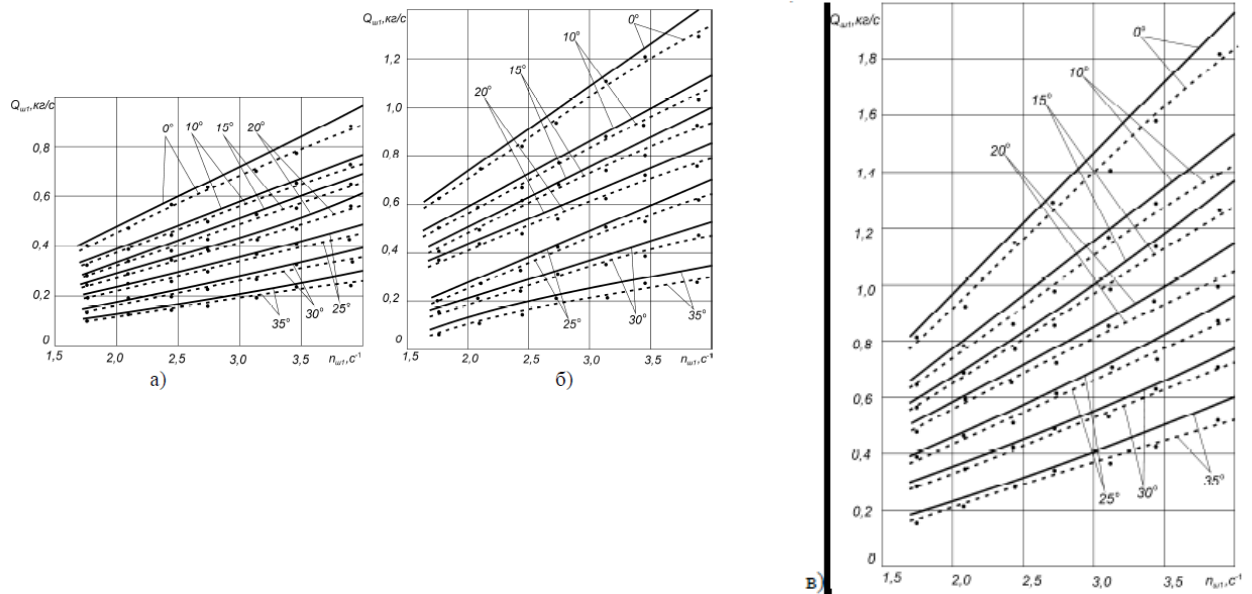


Рис. 3.4. Залежно зміни подачі ($Q_{шп}$) від частоти обертання шнека при кутах установки корпусу від 0 до 35 градусів: а – відношення діаметра до кроку витка 0,4; б – відношення діаметра до кроку витка 0,6; в – відношення діаметра до кроку витка 0,8; _____ теоретичні залежності; - - - експериментальні залежності.

На рис. 3.5 подано залежності зміни потужності на привід шнека від частоти його обертання.

З аналізу рис. 3.5 видно, що при зміні частоти обертання шнека витрати потужності зростають лінійно.

При збільшенні кута підйому корпусу шнека до горизонту, витрати потужності на привід також збільшуються. Мінімальне значення потужності дорівнює 17,21 Вт (рис. 3.5 а) відповідає горизонтальному розташуванню корпусу шнека, відношенню кроку гвинта до діаметра 0,8 і частоті обертання робочого органу $1,73 c^{-1}$. Максимальне значення потужності дорівнює 141,78 Вт (рис. 3.5, в) при куті нахилу корпусу 35° , відношенні кроку гвинта до діаметра 0,4 та частоті обертання шнека $3,82 c^{-1}$.

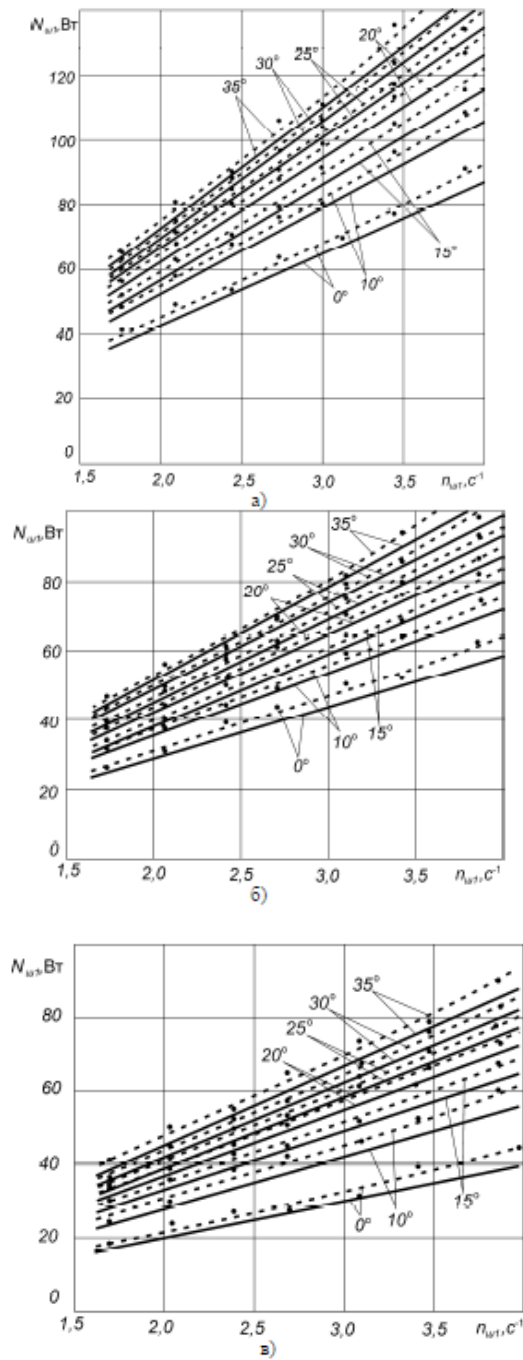


Рис. 3.5. Залежність зміни потужності від частоти обертання шнека: а – відношення діаметра до кроку витка 0,4; б – відношення діаметра до кроку витка 0,6; в – відношення діаметра до кроку витка 0,8; _____ теоретичні залежності; - - - експериментальні залежності

Більш високе значення потужності, необхідної на привід шнека, пояснюється вищими витратами енергії на тертя корму об витки шнека (кількість міжвиткових осередків на одиницю довжини шнека збільшується),

силами внутрішнього тертя корму при його переміщенні в міжвітковому просторі, а також додатковою роботою на підйом продукту.

Висновки по розділу

Експериментальні дослідження конструктивно-режимних та технологічних параметрів змішувача дозволили встановити, що:

- при зміні частоти обертання шнека від $2,0 \text{ c}^{-1}$ до $4,0 \text{ c}^{-1}$ спостерігається лінійне зростання подачі від $0,18$ до $1,9 \text{ кг/с}$, при цьому зі зменшенням величини кута нахилу корпусу змішувача до горизонту подача зростає. Інтенсивне зниження подачі зі збільшенням кута нахилу корпусу змішувача до горизонту спостерігається при співвідношенні кроку діаметру шнека $0,8$ і більше.

- мінімальне значення потужності $17,21 \text{ Вт}$ відповідає горизонтальному розташуванню корпусу шнека, відношенню кроку гвинта до горизонту $0,8$ та частоті обертання робочого органу $1,73 \text{ c}^{-1}$ (подача складає $0,1 \text{ кг/с}$). Максимальне значення потужності дорівнює $141,78 \text{ Вт}$ при куті нахилу корпусу 35° , відношенню кроку гвинта до діаметра $0,4$ і частоті обертання шнека $3,82 \text{ c}^{-1}$ подача становить $1,85 \text{ кг/с}$).

- за результатами проведення багатofакторного експерименту були отримані рівняння регресії, що описують вплив досліджуваних факторів на якість суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації та питомі витрати енергії: визначено мінімальні значення критеріїв оптимізації в межах дослідження – питомі витрати енергії на процес змішування – $1491 \text{ Вт}\cdot\text{с/кг}$, неоднорідність суміші – $5,98\%$; раціональні значення параметрів змішувача: частота обертання шнека $n_{\text{шл}} = 3,5 \text{ c}^{-1}$, час змішування $\tau_{\text{см}} = 180 \dots 240 \text{ с}$; кут нахилу шнека до горизонту = 30 град; при раціональних значеннях параметрів питомі витрати енергії будуть у межах $1491\dots 2628 \text{ Вт}\cdot\text{с/кг}$, неоднорідність суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації – $10\dots 5,98\%$, продуктивність – $6,73 \text{ кг/с}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі уточненої класифікації змішувачів кормів та аналізу результатів наукових досліджень розроблено нову конструктивно-технологічну схему шнекового змішувача періодичної дії для сухих розсипних комбікормів з активним каналом зворотного ходу, змішуючим органом якого є шнек, завантажувальна та вивантажувальна частини якого з'єднані каналом зворотного ходу; всередині каналу зворотного ходу встановлений додатковий шнек з валом, що має ділянку пересипання з плоскими лопатками вздовж валу; навпроти лопаток у каналі зворотного ходу є отвори у вигляді щілин шириною, що перевищує розмір характерних частинок корму; навпроти отворів у каналі зворотного ходу на валу шнека встановлені плоскі лопатки; в кінці шнека закріплені тангенціальні лопаті з нахилом назустріч руху корму; є механізм зміни кута нахилу корпусу до горизонту.

Прийнята конструктивно-технологічна схема змішувача дозволяє інтенсифікувати процес взаємопроникнення компонентів кормової суміші за рахунок поділу та з'єднання потоків кормової суміші на ділянці пересипання.

Експериментальні дослідження конструктивно-режимних та технологічних параметрів змішувача дозволили встановити, що:

- при зміні частоти обертання шнека від $2,0 \text{ c}^{-1}$ до $4,0 \text{ c}^{-1}$ спостерігається лінійне зростання подачі від 0,18 до 1,9 кг/с, при цьому зі зменшенням величини кута нахилу корпусу змішувача до горизонту подача зростає. Інтенсивне зниження подачі зі збільшенням кута нахилу корпусу змішувача до горизонту спостерігається при співвідношенні кроку діаметру шнека 0,8 і більше.

- мінімальне значення потужності 17,21 Вт відповідає горизонтальному розташуванню корпусу шнека, відношенню кроку гвинта до горизонту 0,8 та частоті обертання робочого органу $1,73 \text{ c}^{-1}$ (подача складає 0,1 кг/с). Максимальне значення потужності дорівнює 141,78 Вт при куті нахилу корпусу

35°, відношенні кроку гвинта до діаметра 0,4 і частоті обертання шнека 3,82 с⁻¹ подача становить 1,85 кг/с).

- за результатами проведення багатофакторного експерименту були отримані рівняння регресії, що описують вплив досліджуваних факторів на якість суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації та питомі витрати енергії: визначено мінімальні значення критеріїв оптимізації в межах дослідження – питомі витрати енергії на процес змішування – 1491 Вт·с/кг, неоднорідність суміші – 5,98%; раціональні значення параметрів змішувача: частота обертання шнека $n_{ш1} = 3,5 \text{ с}^{-1}$, час змішування $\tau_{см} = 180 \dots 240 \text{ с}$; кут нахилу шнека до горизонту = 30 град; при раціональних значеннях параметрів питомі витрати енергії будуть у межах 1491...2628 Вт·с/кг, неоднорідність суміші, що оцінюється коефіцієнтом варіації – 10...5,98%, продуктивність – 6,73 кг/с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. Москва : ГНУ ВНИИМЖ, 2010. 248 с.
2. Савченко В. М., Писаренко А. В. Результати дослідження подачі та потужності на привід шнека. Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 54-56.
3. Савченко В. М., Писаренко А. В. Обґрунтування технології для приготування сухих сипучих комбикормів в умовах невеликих господарств. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 332-239.
4. Писаренко А. В. Опис конструктивно-технологічної схеми запропонованого шнекового змішувача з активним каналом зворотного ходу. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 259.
5. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Ленинград : Химия, 1975. 384с.
6. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження вагропромислового комплексу. Тернопіль. 2001. 975 с.
7. Yegorov B. Technological bases of processing tomato pomace in feed additives. *Ukrainian Food Journal*. 2014. Vol. 3.Issue 2. P. 228-235.
8. Єгоров Б.В. Обґрунтування режимів технологічного процесу виробництва екструдованої кормової добавки. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2013. Вип. 44. Том 1. С. 26–32.

9. Бурлака В. А. Оцінка технічного рівня кормороздавачів світових виробників. *Тваринництво України*. 2016. № 3. С. 8–12.
10. Ревенко І. І. Комбіновані транспортотехнологічні засоби у тваринництві. *Вісн. Харків. держ. технічного ун-ту сільського госп-ва*. 2003. № 20. С. 428–433.
11. Подобед Л. Міксер-кормороздавач – безальтернативне рішення оптимальної організації годівлі худоби, так як не помилитись з його вибором? *Молоко і ферма*. 2013. № 2. С. 86.
12. Егоров Б.В. Перспективные направления совершенствования технологий производства и реализации комбикормов. *Матер. I Міжн. наук.-практ. конф. «Україна–Комбікорми 2003»* /Київ, 3–5 березня 2003 р. С. 3–10.
13. Левченко В.И. Производство и использование гранулированных комбикормов. Київ : Урожай, 1982. 118 с.
14. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. Москва : Машиностроение, 1993. 216 с.
15. Рогатинський Р. М. Змішувач комбікормів : *Зб. наук. праць НАУ*. Київ : НАУ, 2000. Т.7. С.156–159.