

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.Т. ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



РЫТОВ Кирилл Петрович

ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ
КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ С РАБОЧИМ ОРГАНом
В ВИДЕ ШНЕКА, ОСНАЩЕННОГО НАВИВКОЙ С
ПЕРЕСЫПНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

4.3.1. – Технологии: машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Фролов Владимир Юрьевич

Краснодар: 2025

Содержание

Введение	
1. Состояние вопроса повышения эффективности процесса смешивания концентрированных кормов.....	9
1.1 Факторы влияющие на процесс смешивания и их анализ.....	9
1.2 Анализ существующих конструкций смесителей кормов.....	28
1.3 Краткий обзор исследований процесса смешивания концентрированных кормов.....	38
1.4 Выводы, цели и задачи исследования.....	42
2 Теоретические исследования процесса смешивания компонентов концентрированных кормов смесителем с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями	44
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы смесителем с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями.....	44
2.2 Получение аналитических зависимостей для определения производительности смесителя с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями.....	47
2.3 Получение аналитических зависимостей для определения мощности, потребляемой смесителем и определение оптимальных конструктивных и режимных параметров.....	56
2.4 Выводы по главе.....	64
3 Методика, экспериментальные исследования и их обработка.....	65
3.1 Программа и организация экспериментальных исследований с описанием экспериментального комплекса по их проведению.....	65
3.2 Методика проведения эксперимента, получение результатов испытания опытного образца смесителя.....	68
3.3 Обработка результатов экспериментальных исследований.....	75
3.4 Выводы по главе.....	96
4 Экономическая оценка результатов исследований.....	97
4.1 Оценка экономической эффективности от внедрения предлагаемого смесителя кормов.....	97
4.2 Выводы по главе.....	102
Заключение.....	104
Список использованной литературы.....	107
Приложения.....	125

Введение

Актуальность темы исследований. Одной из основных задач сельскохозяйственного производства в нашей стране является обеспечение населения качественными продуктами питания. Огромную роль в сельском хозяйстве играет скотоводство, а именно – производство продукции КРС. Мясо и молоко – это неотъемлемая часть рациона каждого человека. Высокое качество этих продуктов напрямую влияет на иммунитет и здоровье наших граждан.

Концентрированные корма занимают особое место в рационе КРС. Неправильно приготовленные кормовые смеси могут существенно влиять на продуктивность животных (привес, надой). На сегодняшний день фермеры выдвигают повышенные требования не только к компонентам для приготовления кормов, но и к оборудованию. Руководителям средних и крупных фермерских хозяйств очевидны преимущества смесителей кормов, многие из которых позволяют смешивать большие порции корма с достаточно высокой однородностью. Следует отметить, что многие модели смесителей металлоемкие, энергоемкие и требуют значительных затрат труда.

В связи с вышеизложенным, совершенствование конструкции смесителя концентрированных кормов, позволяющего повысить качественные и количественные показатели, является актуальной научной задачей.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ ЕГИСУ НИОКР, номер государственной регистрации № 121032300060-2 (2021-2025 гг.).

Степень разработанности темы. Вопросам, связанным с разработкой смесителей посвящены исследования С. В. Баргинеца, С. Н. Воякина, С. И. Воронцова, А. Н. Глобина, В. И. Гусейнова, М. Ю. Двинина, С. М. Доценко, Л. Г. Крючковой, Ю. Б. Куркова, С. С. Петрова, Д. П. Сысоева, В. Ю. Фролова.

Также исследованиями в этой области занимались такие предприятия, как: Башкирский государственный аграрный университет, Донской государственный аграрный университет, Кубанский государственный аграрный университет, Ставропольский государственный аграрный университет.

При этом, достигнуты существенные успехи в области создания машин для кормопроизводства в рамках их высокой производительности и конкретных условий применения.

На сегодняшний день существует потребность в компактных смесителях концентрированных кормов непрерывного действия, которые могут обеспечить высокую однородность смешивания в сочетании с достаточной производительностью.

Это свидетельствует об актуальности темы диссертации по определению параметров и режимов работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями.

В качестве **рабочей гипотезы** для решения частной технической задачи принято предположение о том, что совершенствование смесителя концентрированных кормов, используемого на животноводческих предприятиях, путем установки рабочего органа в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, позволит получить высокие качественные и количественные показатели при приготовлении корма с наименьшей энергоемкостью.

Цель исследований: обосновать параметры и режимы работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, для повышения однородности смешивания при минимальной возможной энергоемкости.

Объект исследования – технологический процесс смешивания компонентов концентрированного корма смесителем концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями.

Предмет исследования – зависимости, связывающие геометрические параметры и режимы работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, с показателями однородности смешивания, производительности и энергоемкости процесса получения концентрированных кормов.

Задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологическую схему смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями;
- теоретическим путем получить аналитические зависимости, характеризующие взаимосвязь между технологическими и конструктивно-режимными параметрами с обоснованием однородности, производительности и мощности, потребляемой электродвигателем в процессе смешивания концентрированных кормов;
- изготовить экспериментальный образец смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями и получить зависимости, характеризующие технологический процесс смесителя концентрированных кормов, и на их основе оптимизировать параметры и режимы работы смесителя;
- сопоставить теоретические и экспериментальные данные исследования смесителя;
- дать экономическую оценку эффективности внедрения предложенного смесителя.

Методы исследования.

Теоретические исследования выполнялись на основании основных положений высшей математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях и фермерских хозяйствах в соответствии с апробированными методиками и базировались на теории планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных результатов выполнялась методом математической статистики с использованием такого ПО, как Mathcad, Microsoft Excel.

Научная новизна:

- конструктивно-технологическая схема смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями;

- параметры смесителя и режимы его работы, которые позволят получить высокую однородность приготовленного корма при минимально возможной энергоемкости;

- зависимость энергоемкости, производительности и однородности приготавливаемого корма от физико-механических характеристик компонентов корма;

- уравнения регрессии по установлению оптимальных технологических показателей и параметров работы смесителя концентрированных кормов.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическую значимость представляют:

- обоснованная конструктивно-технологическая схема смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, что дает возможность исследовать параметры и режимы его работы;

- параметры смесителя концентрированных кормов и режимы его работы, которые позволят получить высокую однородность приготовленного корма при минимально возможной энергоемкости;

- уравнения регрессии для получения оптимальных технологических показателей и параметров работы смесителя концентрированных кормов.

Практическую значимость представляют:

- усовершенствованная классификация технических средств для приготовления концентрированных кормов, которая позволяет выявить перспективные направления;

- изготовленный экспериментальный образец смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, который позволяет осуществлять смешивание кормов с однородностью свыше 90% при минимально возможной энергоемкости;

- обоснованные основные параметры и режимы работы, которые позволили разработать смеситель концентрированных кормов с рабочим органом в

виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, который может быть применен на фермах по содержанию КРС.

Новизна технических решений подтверждается патентами на изобретение №2813791 «Смеситель кормов», №2805955 «Смеситель кормов».

Основные научные положения, вынесенные на защиту:

- конструктивно-технологическая схема смесителя концентрированных кормов;
- аналитические и эмпирические зависимости, для смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями;
- параметры и режимы работы смесителя концентрированных кормов;
- уравнения для расчета производительности и энергоемкости работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного пересыпными отверстиями в зависимости от его конструктивных и режимных параметров;
- уравнения регрессии по установлению оптимальных показателей и параметров работы смесителя концентрированных кормов.
- результаты сопоставления теоретических и практических данных исследований.

Степень достоверности полученных результатов и апробация работы. Результаты получены с применением известных методик проведения исследований и современной измерительной техники. Достоверность результатов подтверждена сходимостью теоретических и экспериментальных данных, а также широкой апробацией результатов исследований в хозяйствах Краснодарского края.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях Кубанского ГАУ (г. Краснодар, 2022-2024 гг.), Всероссийских конкурсах на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых аграрных образовательных и научных организаций России (г. Владикавказ, 2023 г., г. Волгоград, 2024 г., г. Уфа, 2024 г.), участие в

XXIII Агропромышленной выставке-ярмарке «Золотая Нива» (Краснодарский край, г. Усть-Лабинск, 2023 г.).

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

1.1 Роль смесителей кормов в животноводстве, факторы влияющие на процесс смешивания и их анализ

За последние 10 лет существенно вырос спрос на молоко и молочную продукцию, что приводит к необходимости масштабирования производства и увеличению выработки молока. Безусловно, для этого можно увеличивать поголовье КРС, но еще одним эффективным путем является использование пород коров с высокой продуктивностью: длительный период лактации, высокие разовые надои.

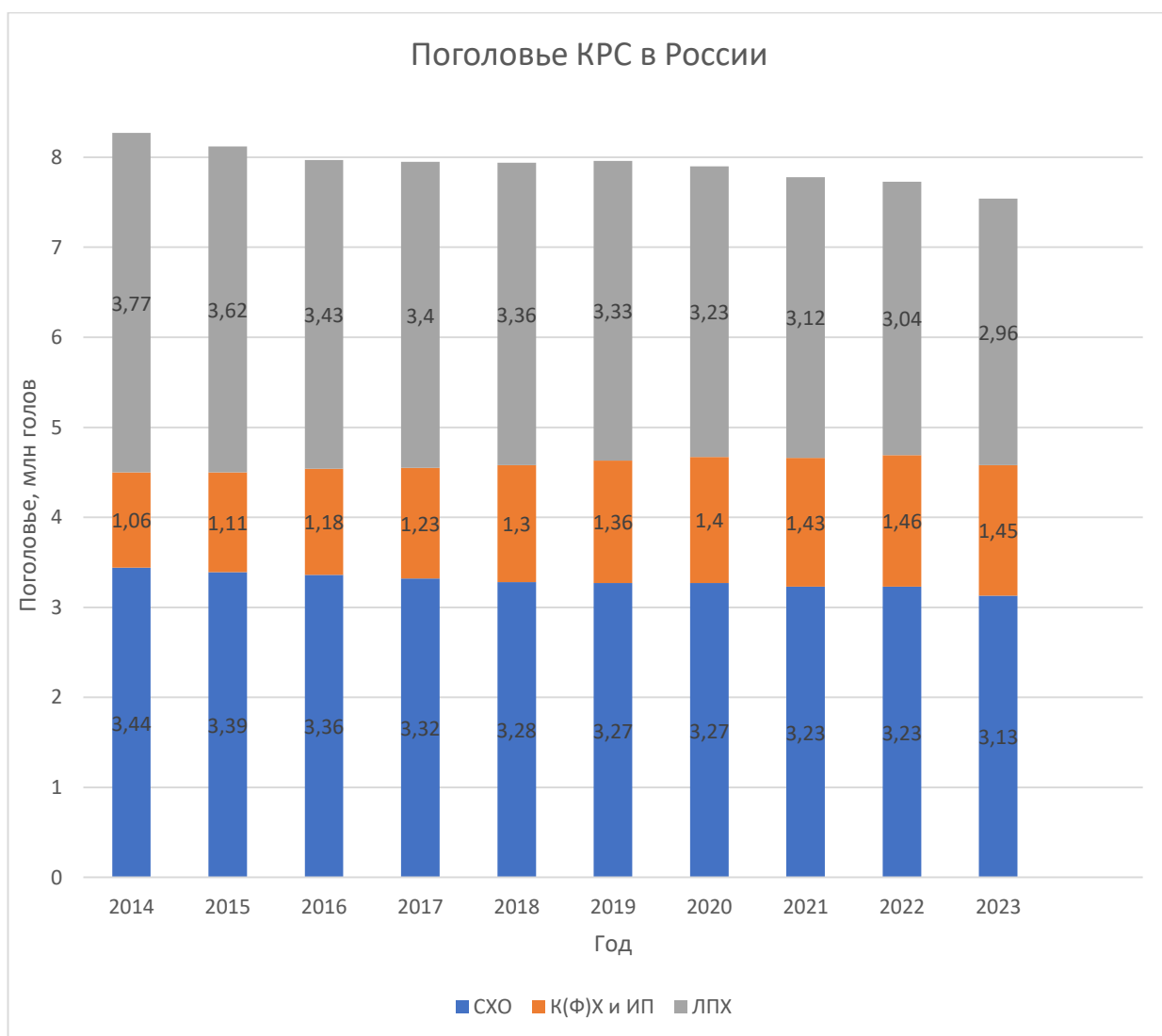


Рисунок 1.1. – График изменения поголовья КРС за последние 10 лет

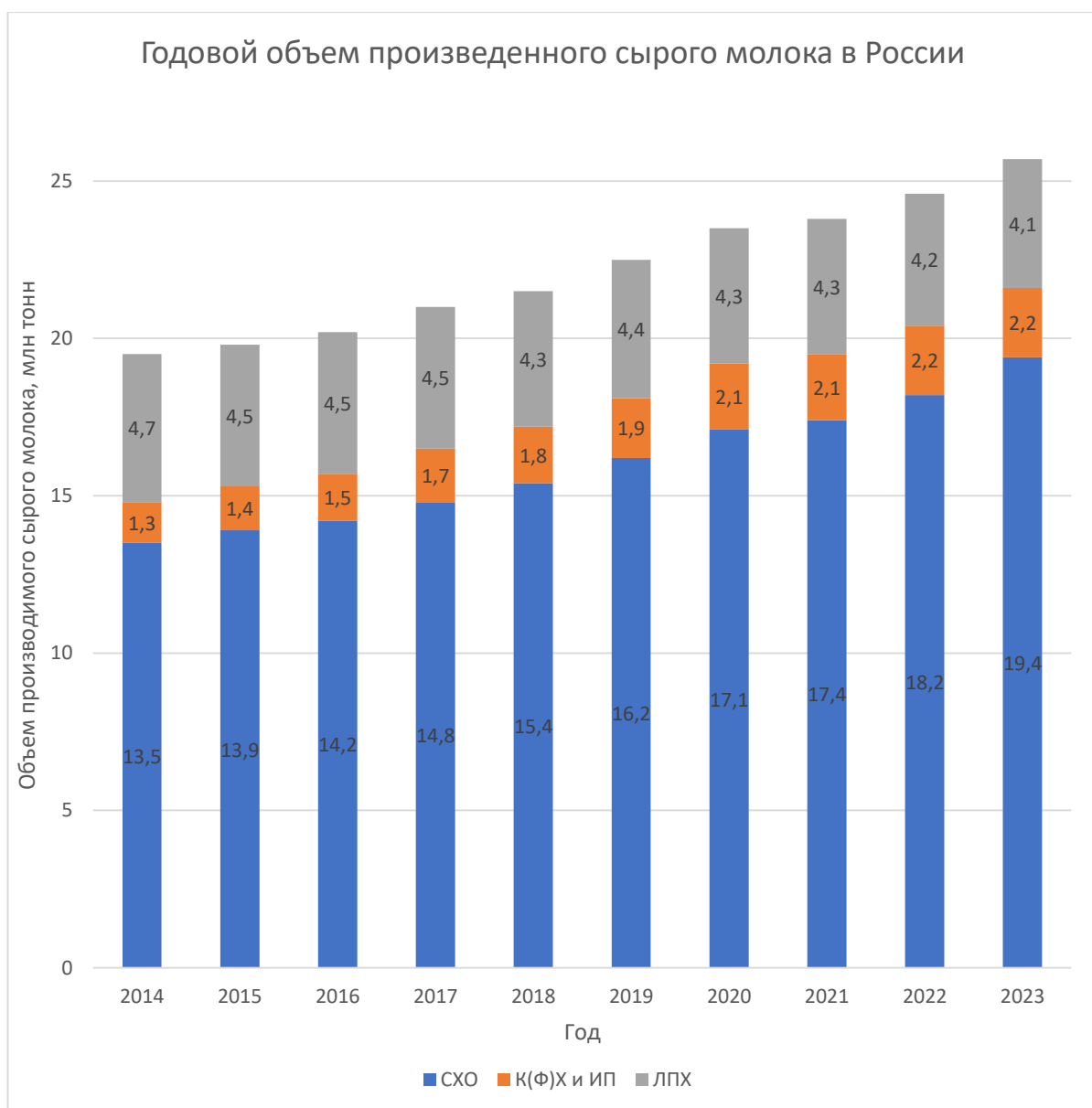


Рисунок 1.2. – График изменения годового объема производства сырого молока в России

Проанализировав графики на рисунке 1.1. и 1.2., можно сделать вывод, что в периоде с 2014 по 2023 год поголовье КРС в России снизилось с 8,27 до 7,54 млн голов, но, при этом, объем производимого сырого молока вырос с 19,5 до 25,7 млн тонн в год. В таком случае, можно говорить о том, что происходит замещение КРС старых пород на новые, более высокопродуктивные.

Аналогично можно отметить, что выросло поголовье КРС в К(Ф)Х и ИП с 1,06 до 1,45 млн голов, что сопровождается ростом производства молока с 1,3 до 2,2 млн тонн в год. Такие показатели также говорят о переходе К(Ф)Х и ИП

к более эффективным методам ведения хозяйства и разведению более высокопродуктивных животных.

Однако, в сфере ЛПХ наблюдается противоположная ситуация: вместе со снижением поголовья с 3,77 до 2,96 млн голов имеет место быть снижение производства сырого молока с 4,7 до 4,1 млн тонн в год.

Это, от части, говорит о том, что многие фермеры перешли от ЛПХ к К(Ф)Х или ИП, но это не отменяет тот факт, что в ЛПХ, как правило, содержатся менее продуктивные породы КРС. Это объясняется тем, что в сферу ЛПХ не так быстро проникают современные технологии содержания КРС, в т.ч. и новые способы приготовления кормов, а, согласно зоотехническим требованиям ко вскармливанию большинства высокопродуктивных пород КРС, качественные корма – одно из важных составляющих высокой продуктивности коров.

Проанализировав графики на рисунках 1.1 и 1.2, составим график, который покажет, как изменялся среднестатистический объем молока, получаемый в год от одного животного КРС.

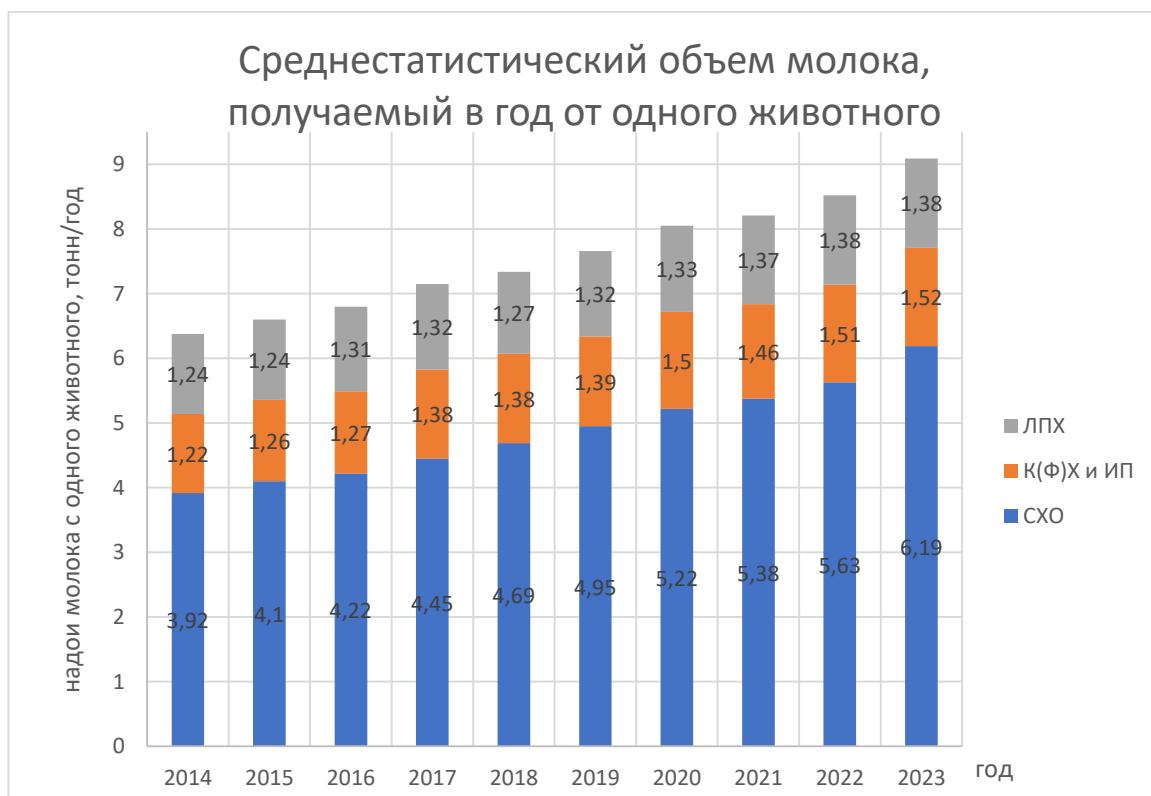


Рисунок 1.3. – График изменения среднестатистического объема молока, получаемого в год от одного животного

Проанализировав график, представленный на рисунке 1.3, можно сделать вывод, что надои на одно животное в малых предприятиях (К(Ф)Х и ИП) и ЛПХ в несколько раз ниже, чем в СХО. Конечно же, это объясняется не только невозможностью малых предприятий закупить КРС высокопродуктивных пород, но и несоблюдением рациона, вскармливаемого животным. К питанию высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных предъявляются повышенные требования на протяжении всего года.

Одним из основных аспектов разведения высокопродуктивных пород любых сельскохозяйственных животных или птиц, является соблюдение строгих правил ухода за ними: одно из самых важных – выдерживать определенный рацион при вскармливании как молодых, так и взрослых особей. При приготовлении корма одной из важнейших операций является смешивание.

Крупный рогатый скот, будучи важным источником мяса, молока и других продуктов животноводства, требует такого же качественного и сбалансированного питания для обеспечения крепкого здоровья и высокой продуктивности. Процесс приготовления кормов для крупного рогатого скота имеет решающее значение для его питательной ценности и усвояемости, а также для обеспечения животного всеми необходимыми питательными веществами.

Одной из основных проблем при работе смесителя кормов является недостаточная эффективность смешивания. Неравномерное распределение ингредиентов в смеси может привести к тому, что животные не получают необходимого количества питательных веществ, что негативно отразится на их здоровье и продуктивности (привес, надои).

Другой распространенной проблемой является низкая эксплуатационная надежность смесителей. При неправильной эксплуатации или некорректном обслуживании механизмы смесителей могут быстро изнашиваться, что требует регулярного технического обслуживания. Также следует отметить проблему загрязнения смесителей. Остатки корма, пыль и другие загрязнения могут скапливаться внутри устройств, что создает условия для размножения бактерий и гниения корма.

Для предотвращения этих проблем рекомендуется использовать специализированное оборудование для смешивания кормов, следить за качеством ингредиентов, обеспечивать правильное соотношение питательных веществ и контролировать процесс смешивания. Регулярный мониторинг здоровья животных и их продуктивности также важен для выявления возможных проблем в рационе и своевременной его коррекции. Только при условии соблюдения всех рекомендаций можно обеспечить животным полноценное и сбалансированное питание [71].

К концентрированным кормам, используемым на корм скоту, относятся зерно злаковых и бобовых культур, различные отходы их переработки (дёрть, отруби, крупа, мука, мучка), а также жмыхи, шроты и комбикорма. По содержанию и составу питательных веществ концентрированные корма делятся на четыре основные группы. В первую группу входят зерно хлебных злаков и продукты его переработки, основной частью сухого вещества, которыми являются безазотистые экстрактивные вещества (60-75%), из них большую часть составляют легкорастворимые и легкогидролизуемые углеводы, 10-13% сырого протеина и около 3% сырого жира. Во вторую группу входят зерно бобовых и побочные продукты из него с высоким содержанием сырого протеина (20-40%), незначительным количеством легкорастворимых и легкогидролизуемых углеводов (30-50%) и около 3% сырого жира. В третью группу входят отходы маслоэкстракционной промышленности - жмыхи и шроты, содержащие 20-50% сырого протеина, 1,5-10,0% сырого жира и небольшую часть безазотистых экстрактивных веществ. (В жмыхах количество сырого жира в среднем около 7%, в шротах - 2%). В четвертую группу входят комбикорма - однородные смеси очищенных и измельченных различных кормовых средств, составленных по научно обоснованным рецептам и сбалансированным по комплексу питательных веществ, содержащие 15-25% сырого протеина, различные минеральные, витаминные добавки и 35-45% легкорастворимых и легкогидролизуемых углеводов. По химическому составу и питательной ценности

концентрированные корма должны соответствовать нормативным требованиям. При оценке качества концентрированных кормов основное внимание должно уделяться содержанию массовой доли сухого вещества, сырого протеина, обменной энергии или кормовых единиц. Концентрированные корма должны быть нормального цвета и запаха, характерных для каждой культуры, содержание сырой золы не должно превышать 12%, а для жмыхов, шротов, комбикормов не более 7%, не иметь остаточных количеств растворителей. (В среднем для зерновых кормов содержание сырой золы около 4% на сухое вещество, для комбикормов, жмыхов и шротов - 6%). Комбикорма - концентраты для с.-х. животных, птицы и пушных зверей по органолептическим показателям (внешнему виду, цвету, запаху, крупности помола) должны соответствовать набору компонентов данного рецепта комбикорма без признаков плесени, затхлого, гниlostного и других посторонних запахов. Гранулированные комбикорма должны соответствовать требованиям стандартов по величине и крошимости гранул и проходу через сито с определенными размерами отверстий [25].

Для успешного выращивания крупного рогатого скота необходимо обеспечить его сбалансированным питанием, включающим концентрированные корма. Использование подходящего смесителя концентрированных кормов поможет обеспечить животных необходимыми питательными веществами в правильных пропорциях. Правильно приготовленная кормовая смесь способствует здоровому и быстрому росту животного, что в итоге положительно повлияет на качество мяса и молока. Вложения в качественное оборудование для смешивания кормов является важным шагом для успешного животноводства [62].

Одним из ключевых аспектов развития современных наук и технологий является повышение эффективности технологического процесса. Данная тенденция актуальна для сельского хозяйства. Исследования в области сельского

хозяйства доказали, что для выращивания различных сортов растений необходимо определенное количество питательных веществ. В сфере животноводства ситуация аналогичная, животным необходимо сбалансированное питание, которое позволит получать и усваивать организмом животных максимальное количество питательных веществ. Рациональное кормление – это один из ключевых факторов, который влияет на продуктивность животных (привес, надой). Такая технология подразумевает точную дозировку всех составляющих концентрированного корма, а также их высокое качество смешивания.

Безусловно, невозможно получить высокопитательный корм без ингредиентов высокого качества: низкий процент дробленого зерна, минимальное количество пыли и грязи, соответствие компонентов требуемому сорту. Но важнейшей операцией является смешивание, ведь именно от него и будет зависеть качество конечного продукта. Согласно исследованиям, высокое качество смешивания позволяет снизить количество непоедаемых остатков. В случае порционного кормления птицы, например, цыплят, разовая порция корма достаточно невелика, всего несколько десятков граммов, и в таком случае невысокая однородность смешивания изменит фактический состав поедаемой кормосмеси для конкретной особи, что в худшую сторону может отразиться на росте или наборе веса [21], [35], [37].

Главным критерием успешного проведения процесса смешивания служит равномерность распределения компонентов в продукте, которая достигается за установленный промежуток времени при оптимальном заполнении рабочей камеры. Смесь признается равномерно распределенной, если концентрация составляющих в любой ее части совпадает с заданной концентрацией для всего объема. Особую важность имеет однородность концентрированных кормов, поскольку суточный объем корма, а особенно его разовая порция, предназначенная для некоторых животных и птиц, крайне невелика [14], [26].

Однородный состав гарантирует одинаковую питательность концентрированного корма в каждом объеме его массы, для каждого животного, потребляющего его. Поэтому параметры процесса смешивания необходимо соблюдать в полном соответствии с технологическими требованиями производства.

Смешивание, которое также называют перемешиванием, представляет собой процесс, заключающийся в комбинировании объемов различных веществ с целью достижения высокой степени однородности конечного продукта. Это означает, что частицы каждого из компонентов равномерно распределены по всему объему смеси, обеспечивая стабильность и равномерность её характеристик. В ходе смешивания происходит перегруппировка частиц, что позволяет достичь оптимального сочетания свойств всех компонентов и, соответственно, получить продукт с предсказуемыми свойствами и качествами.

Цель смешивания — получение однородной массы из дозированных компонентов, придание ей определенной структуры и предотвращение разделения конечного продукта на составные компоненты.

Смешивание материалов в технологических системах можно представить, как совокупность трех основных элементарных процессов, каждый из которых вносит свой вклад в достижение равномерного распределения компонентов:

- конвективное смешивание, данный процесс заключается в макроскопическом механическом перемещении макрочастиц вещества из одной области системы в другую, это достигается путем различных методов макротранспорта, таких как движение сыпучей смеси через механическую или гидродинамическую систему, такие перемещения могут быть осуществлены посредством перемещения слоев под действием силы тяжести или внешних сил, вызывая реорганизацию и перераспределение материала, благодаря чему происходит смена позиции крупных кластеров частиц [69];

- диффузионное смешивание, этот процесс характеризуется микроскопическим переносом частиц, который осуществляется в результате взаимодей-

ствия на границах раздела компонентов, в нем происходит постепенное внедрение и перемешивание мелких частиц одного вещества с другим, данный процесс особенно эффективен при малых размерах частиц и высоких температурах [16];

– смешивание путем сдвига, такой процесс включает возникновение относительных перемещений частиц в слоях с образованием напряжения сдвига. Здесь интенсивное перемешивание достигается за счет разности скоростей соседних слоёв, что способствует смешиванию компонентов с более высокой однородностью, сдвиговые усилия способствуют уменьшению гетерогенности смеси за счет механического разделения и взаимодействия частиц между слоями, что особенно эффективно при работе с вязкими или пастообразными материалами [59], [85].

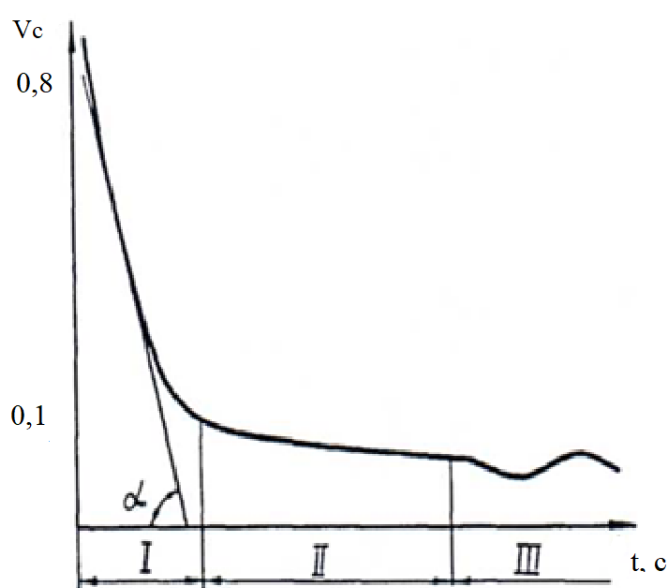
Эти три базовые механизма смешивания взаимодействуют друг с другом в зависимости от свойств компонентов и условий процесса, включая скорость перемешивания, вязкость среды и термодинамические условия.

В контексте производства кормов, диффузионное смешивание используется для равномерного распределения ингредиентов в кормовых смесях, что важно для обеспечения сбалансированного питания животных.

Суть механизма смешивания сдвигом заключается в том, что материал перемещается за счёт движения специальных механических элементов - мешалок. Они могут иметь различные формы, например, лопастей или лент, которые вращаются или перемещаются, создавая силы, заставляющие частицы материала двигаться относительно друг друга. Такое движение способствует равномерному распределению компонентов смеси и их тщательному перемешиванию. Это способствует более интенсивному перемешиванию, так как встречные потоки создают дополнительные силы трения и сдвига, которые помогают добиться однородности смеси.

Процесс смешения в камере делят на три элементарные фазы; на рисунке 1.4 показано изменение коэффициента неоднородности смеси v_c во времени t .

В первой фазе процесса рабочие элементы играют ключевую роль, разрушая агломераты, которые состоят из частиц одного компонента. Эти частицы затем равномерно распределяются по всему рабочему пространству смесителя, что способствует их лучшему взаимодействию с частицами других компонентов. Данный этап носит конвективный характер, что подразумевает активное перемещение частиц в объеме смесителя. Это перемещение приводит к быстрому снижению коэффициента неравномерности смеси, так как частицы начинают распределяться более равномерно, улучшая общую однородность смеси.



I - участок с преобладанием конвективного смешивания;

II - участок с преобладанием диффузионного смешивания;

III - участок равновесия процессов смешивания и сегрегации.

Рисунок 1.4. – График изменения коэффициента неоднородности смеси V_c во времени t

Вторая фаза процесса смешивания включает в себя равномерное распределение отдельных частиц по всему объему смесителя, что способствует достижению однородности смеси. На этой стадии сегрегация — или разделение частиц на группы по различным характеристикам — начинает играть важную роль, оказывая влияние на общую эффективность смешивания. В результате, коэффициент неоднородности, обозначаемый как k_v , снижается, но его уменьшение происходит значительно медленнее по сравнению с первой фазой.

Именно на этом этапе важно обеспечить тщательное перемешивание, чтобы избежать неоднородности смеси [91].

В третьей фазе процесса происходит выравнивание скоростей смешивания и сегрегации. Это означает, что оба процесса начинают протекать с одинаковой скоростью, что свидетельствует о достижении некоего баланса внутри системы. На этом этапе коэффициент k_v , который является важным параметром и показателем эффективности процесса, остается практически постоянным. Это стабильное значение указывает на то, что дальнейшее продолжение смешивания не принесет значительных изменений, и, следовательно, смешивание можно завершить.

Важно отметить, что оптимизация достигается не просто через завершение смешивания на данном этапе, но и за счет более эффективного использования времени и ресурсов. За счет того, что в третьей фазе процессы достигают равенства скоростей, можно сказать, что система была хорошо спроектирована. Сокращение временных затрат в этом контексте подразумевает не только экономию времени, но и более рациональное использование оборудования и энергии, что в конечном итоге приводит к повышению общей эффективности конструкции. Таким образом, точное определение момента завершения процесса смешивания способствует достижению наилучшего результата в рамках заданных условий и ограничений [52].

В таком случае процесс смешивания характеризуется динамическим изменением концентрации конкретного компонента в рабочем пространстве смесителя на протяжении времени. Этот процесс представляет собой сложное взаимодействие различных факторов, включая механические движения, физико-химические свойства материалов и конструкционные особенности оборудования. Изменения в концентрации указывают на степень и качество смешивания, что критически важно для достижения однородного состава смеси.

Когда речь идет о смесителях периодического действия, эти устройства работают в повторяющихся циклах, в каждом из которых компоненты загружаются, смешиваются и выгружаются. Процесс поддается математическому

моделированию, что позволяет анализировать и оптимизировать его результаты. Основными показателями является эффективность перемешивания, равномерность распределения компонентов и минимизация времени на один цикл, что в конечном итоге влияет на производительность и управляемость технологического процесса.

Основной качественный показатель процесса смешивания — однородность полученной продукции, ее гомогенность, достигаемая за определенное время при оптимальной загрузке рабочей камеры [70].

Высокая однородность приготовленного корма для крупного рогатого скота (КРС) является важным аспектом в кормлении, поскольку она влияет на несколько ключевых факторов, связанных с продуктивностью и здоровьем животных.

Факторы, на которые влияет качество приготавливаемого корма:

- равномерное потребление всех питательных веществ согласно рациону. Однородность корма обеспечивает равномерное распределение всех его компонентов, включая витамины, минералы и другие добавки. Это гарантирует, что каждое животное получает сбалансированное количество питательных веществ с каждым приемом корма;

- неоднородность корма может вызвать проблемы с пищеварением, такие как ацидоз или вздутие, из-за нерегулярного поступления питательных веществ и особенно углеводов и белков. Однородный корм способствует поддержанию стабильного pH в рубце, что важно для здоровья кишечника;

- прирост массы и повышенная молочная продуктивность, низкая однородность корма может привести к колебаниям в потреблении питательных веществ, что отражается на приросте массы у молодняка и на молочной продуктивности у дойных коров. Однородность, напротив, способствует стабильной продуктивности и росту;

- снижение избирательности поедания кормов животными при кормлении. КРС может выбирать отдельные компоненты корма, игнорируя менее

вкусные из них, если корм неоднороден. Это ведет к несбалансированному потреблению питательных веществ. Однородный корм снижает возможности избирательного поедания;

- оптимизация использования кормов. Высокая однородность дает возможность лучше контролировать и прогнозировать потребность животных в корме, улучшая экономическую эффективность кормления и снижая потери;

- снижение стресса в стаде. Однородное питание помогает снизить конкуренцию между животными за корм, поскольку каждый получает одинаковую порцию, что снижает стресс и улучшает общее благополучие стада;

- экономическая эффективность. Правильное смешивание снижает риск перекорма или недокорма отдельными компонентами, что помогает снизить затраты на корма и улучшить эффективность их использования.

В процессе смешивания происходит постепенное выравнивание концентраций составляющих компонентов в пределах рабочего объема смесителя. Это обеспечивает равномерность и однородность смеси, что особенно важно для получения качественного конечного продукта [82] [88].

Концентрированные корма состоят из множества различных компонентов, каждый из которых играет свою роль в питательной ценности продукта. При их производстве важно удостовериться, что каждый из компонентов равномерно распределен по всему объему смеси. Чтобы оценить, насколько равномерно распределены компоненты в корме, особое внимание уделяется оценке однородности смеси, причем основное внимание сосредоточено на наименее представленном компоненте. Это связано с тем, что даже небольшие отклонения в концентрации такого компонента могут оказать значительное влияние на качество и питательные характеристики конечного продукта.

В качестве основного показателя для оценки степени однородности применяется коэффициент вариации (V_c), который представляет собой количественную меру неоднородности смеси. Этот коэффициент показывает степень разброса концентраций компонентов относительно их среднего значения. Чем

больше значение V_c , тем больше отличаются реальные концентрации компонентов от среднего значения, что свидетельствует о неоднородности смеси. Напротив, более низкое значение V_c указывает на то, что величина отклонения концентраций от среднего минимальна, и все компоненты равномерно распределены, [3], [28], [41].

Высокая эффективность работы смесительного оборудования напрямую связана с низкими значениями коэффициента вариации. Это говорит о способности оборудования обеспечивать равномерное смешивание, что приводит к получению однородного продукта высокого качества. Равномерное распределение компонентов критически важно, поскольку это обеспечивает консистентное потребление питательных веществ животными, для которых предназначены эти корма.

Результаты исследований как российских, так и зарубежных ученых и специалистов в области производства кормов показывают, что концентрированные корма считаются качественными и эффективными, если их однородность достигает не менее 90% [69]. Этот уровень однородности гарантирует, что животные будут получать необходимое количество каждого питательного вещества, независимо от того, из какой части партии поступил корм

Исследования в области технологии смешивания кормов выявили ряд факторов, оказывающих значительное влияние на эффективность этого процесса. Среди основных факторов, влияющих на качество и однородность смеси, выделяют:

- метод введения компонентов в смесительный агрегат;
- скорость вращения рабочих элементов смесителя;
- конфигурация рабочих элементов смесителя;
- точность дозирования ингредиентов;
- количественные пропорции ингредиентов;
- уровень загруженности смесительного оборудования;
- весовые пропорции компонентов;
- форма и размеры участвующих в смеси частиц;

– уровень дробления компонентов концентрированной кормовой базы.

Эти факторы могут быть классифицированы на конструктивные, технологические и физико-механические категории в зависимости от их природы и воздействия на процесс смешивания. Конструктивные относятся к конструкции и параметрам смесителя, технологические связаны с технологическим процессом и условиями осуществления процесса, а физико-механические обусловлены непосредственно свойствами смешиваемых материалов. Исследования [63] [64], направленные на изучение конструктивных факторов, влияющих на процесс смешивания, проводились с использованием смесителей, оснащённых разнообразными видами рабочих органов. Вне зависимости от специфики применяемых механизмов, все исследователи преследовали общую цель — достижение высокой степени однородности конечной смеси.

Для этого рассматривались изменения в форме рабочих органов, их размере и конфигурации. Эти изменения часто оказывались ключевыми для улучшения эффективности процесса смешивания. Например, вариации в геометрии рабочих органов могут обеспечить более равномерное распределение компонентов и предотвратить сегрегацию. Анализ влияния каждого из этих факторов помогает в создании более совершенных конструкций смесителей, которые способны обеспечивать необходимые характеристики готовой смеси.

Научные исследования показали, что корректная подготовка кормовой смеси значительно улучшает её параметры переваримости и усвояемости. Это, в свою очередь, способствует повышению продуктивных показателей животных и снижению расхода кормов на производство единицы продукции. Оптимальная усвояемость достигается за счёт измельчения компонентов до соответствующих частиц и их равномерного смешивания, что улучшает доступность питательных веществ и их биологическую доступность для организма.

В процессе производства полнокормовой смеси (ПКС) ключевым элементом является не только точность дозирования компонентов, но и достижение однородности смеси с учётом заданной гранулометрической структуры. Это

означает, что смесь должна иметь однородный состав по всем своим структурным уровням, обеспечивая тем самым стабильное поступление питательных веществ в необходимых пропорциях.

При разработке сбалансированных рационов для жвачных животных необходимо учитывать три вида фундаментальных потребностей их пищеварительной системы, каждая из которых играет критически важную роль. [8], [17], [79]:

- потребность микрофлоры;
- потребность микроорганизмов в питательных веществах;
- потребность желудочно-кишечного тракта в регуляторных компонентах пищи.

В случае с КРС, при повышении качества смешивания кормов отмечают снижение расхода корма на 10-15 % и повышение надоев на 10-12 %. Менее выражено оттеснение коров друг другом в процессе кормления, в момент раздачи корма коровы, как правило, остаются на своих местах и не спешат к кормовому столу, не пытаются рыть корм в поисках более вкусных компонентов, которые не были перемешаны должным образом. Это приводит к употреблению более однородного корма, что отлично сказывается на общем состоянии животных [23].

Исследованиями установлено, что правильно подготовленная кормовая смесь позволяет повысить её перевариваемость и усвояемость, что приводит к повышению продуктивности птицы и животных, а также уменьшению затрат корма на единицу готовой продукции.

Наряду с точностью дозирования кормов в процессе приготовления полнокормовой смеси, важное значение имеет получение однородной смеси с заданной фракционной структурой [18].

Исследовательская группа Института животноводства НААН Украины осуществила детальный эксперимент, направленный на изучение влияния степени равномерности смешивания кормов, которая варьировалась от 75% до

85%. Основной целью исследования было определить, как такие уровни смешивания воздействуют на отклонения в обеспеченности питательными веществами отдельных животных. Особое внимание уделялось исследованию влияния этих факторов в условиях различной концентрации кормов в общем рационе. Результаты исследования помогли выявить важные закономерности в распределении питательных веществ и предложить рекомендации для оптимизации кормовых стратегий в животноводстве [31], [44].

При выборе смесителя необходимо учитывать, для каких кормов и каких потребителей разрабатывалась машина. Время перемешивания также будет зависеть от конструктивных особенностей – размера шнека, формы бункера и т. д. Большинство европейских вертикальных смесителей рассчитаны на влажные корма и имеют большое расстояние между витками спирали шнека, то есть они имеют меньшую общую площадь спирали и медленнее поднимают корм, что увеличивает время перемешивания сухого корма.

Кормовые смеси необходимо готовить строго по рецепту. При производстве концентрированных кормов допускаются отклонения от рецептурного состава в пределах не более $\pm 1,5\%$, сочных кормов (силос, корнеплоды) $\pm 3,5\%$, жидких кормов $\pm 2,5\%$, минеральных добавок $\pm 1\%$ от суммы дозируемого кормить по массе [16].

Некоторые смесители универсальны по видам кормов, но предназначены для хозяйств с небольшим поголовьем (до 100-150 голов) [15].

Типичные технологические схемы приготовления кормосмесей [65].

1. Прием и хранение сырья. На этом начальном этапе производится прием и первичное складирование исходных компонентов, используемых для производства кормов. В помещениях для хранения должны поддерживаться определенные условия температуры и влажности, чтобы предотвратить порчу сырья и потери их питательных свойств. Сырье также подлежит предварительному контролю качества с целью подтверждения его соответствия установленным стандартам;

2. Чистка сырья от примесей. После этапа приемки сырье проходит через системы очистки, которые удаляют механические загрязнения, такие как пыль, семена сорных растений и другие посторонние примеси. Обычно для этого используют механические сита, аспирационные установки и магнитные сепараторы;

3. Шелушение овса. Данный специфический процесс включает отделение оболочки зёрен овса от ядра. Это достигается благодаря использованию вальцовых станков или специальных шелушильных машин, что позволяет улучшить усвояемость корма и избежать нежелательных компонентов, содержащихся в оболочке;

4. Измельчение ингредиентов. После очистки и шелушения сырьё подлежит дроблению. На этом этапе используются молотковые дробилки или вальцовые мельницы для достижения необходимой степени измельчения компонентов, что способствует более равномерному распределению питательных веществ и улучшает обработку в последующих стадиях;

5. Дозирование ингредиентов. Точный состав кормов обеспечивается системой дозирования, которая предусматривает контрольное взвешивание каждого компонента. Используются компьютеризированные системы автоматического дозирования, которые управляют потоком ингредиентов, основываясь на заданной рецептуре;

6. Смешивание компонентов. Измельченные и дозированные компоненты поступают в смесители. Смешивание осуществляется в горизонтальных или вертикальных смесителях, в зависимости от производственных мощностей и специфики смеси. Цель – достичь равномерного распределения всех компонентов, что критически важно для обеспечения высокой однородности корма;

7. Хранение и отпуск/гранулирование (брикетирование). После смешивания готовую кормовую смесь можно либо отправлять на хранение в специально оборудованные бункеры, либо подвергать дальнейшей обработке (гранулированию или брикетированию). Гранулирование осуществляют на

специализированных прессах, что позволяет повысить плотность корма и улучшить условия для его транспортировки и хранения. Брикетирование предполагает формирование корма в более крупные блоки, что также облегчает обращение с продуктом;

8. Заключительное хранение и отпуск. На последнем этапе конечный продукт фасуется и направляется на склад для кратковременного хранения перед отгрузкой. На складах должны поддерживаться надлежащие условия, исключающие воздействие влаги, экстремальных температур и других факторов, которые могут повлиять на качество кормов. Отсюда корма отправляются потребителям или на дальнейшее распределение.

Эти этапы, при корректном их выполнении, создают питательный и безопасный продукт, который способствует эффективному росту и развитию животных, а также оптимизирует расходы на кормление. Смесители-кормораздатчики с вертикальными шнеками отличаются тем, что их система смешивания работает более бережно по отношению к смешиваемому корму. В ходе работы этих устройств корм подается вверх, что позволяет избежать его чрезмерного уплотнения. В подобных смесителях плотность корма на объем 1 м³ обычно варьируется в рамках установленных значений, что позволяет достичь оптимального уровня эффективности при смешивании и распределении готового продукта. Такая технология часто используется для обеспечения равномерного распределения кормовой массы и улучшения усвояемости компонентов. В то время как вертикальные шнеки обеспечивают более щадящий процесс, смесители с горизонтальными шнеками отличаются другими характеристиками. Это связано с тем, что при перемешивании корм движется по спиральной траектории вдоль стенок бункера. Этот процесс включает в себя продвижение корма к точкам встречного потока или непосредственное соприкосновение со стенками бункера.

Во время движения корма по такой траектории, он подвергается воздействию давления со стороны шнеков и стенок, заставляя его подниматься вверх. В этих зонах взаимодействия корма со шнеками или стенками происходит

уплотнение частиц компонентов. Такое уплотнение может изменять структуру кормовых компонентов, иногда приводя к их частичному разрушению. Это может повлиять на однородность и качество конечного продукта, что требует тщательно контролируемого процесса для минимизации потенциального повреждения структуры кормов.

В настоящее время существуют модели смесителей-кормораздатчиков, оснащенные вертикальными шнеками, которые спроектированы с учетом использования в условиях ограниченного пространства. Эти устройства разработаны таким образом, чтобы эффективно работать там, где имеются ограничения и по ширине, и по высоте помещений.

При смешивании кормов решающее значение имеет равномерное распределение отдельных компонентов в смеси.

Как правило, автоматизация непрерывного смешивания является более простой.

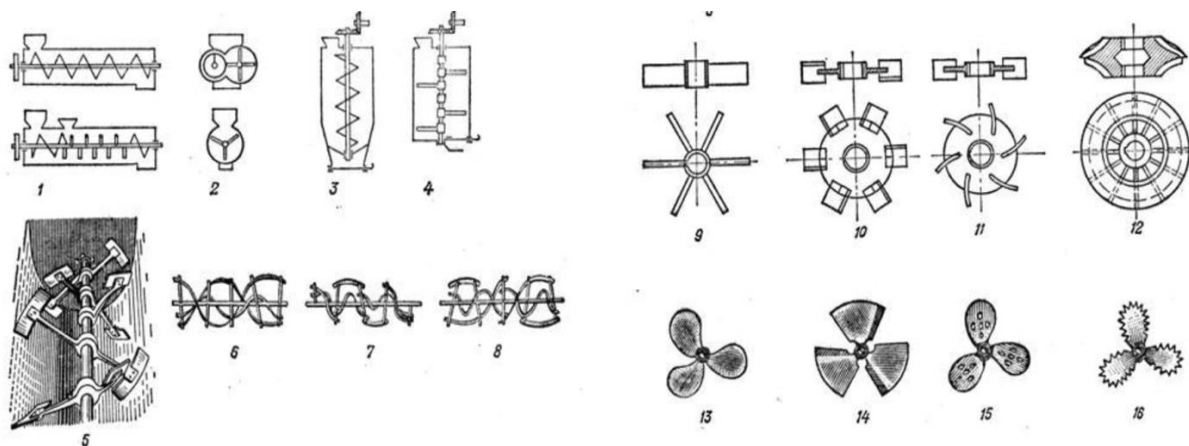
1.2 Анализ существующих конструкций смесителей кормов

Классификация смесителей для кормов основана на ряде функциональных и конструктивных признаков, что позволяет выбрать оптимальный вариант для конкретных задач и условий эксплуатации:

- по конструкции рабочего элемента;
- по конфигурации расположения корпуса;
- по длительности и режиму работы;
- по характеристикам обрабатываемых ингредиентов;
- по функциональной специфике;
- по типу мешающего механизма.

Вертикальные смесители обычно представляют собой цилиндр с конусообразным днищем снизу и воронкой для загрузки сверху. Снизу расположен вертикальный шнек. Сырье попадает в нижнюю воронку, шнек поднимает его

вверх, а затем масса спадает вниз по стенкам, таким образом процесс повторяется непрерывно, а цикл смешивания обычно занимает всего несколько минут. Характерным недостатком является невысокая однородность корма при добавлении жидких ингредиентов.



1,2,3 – шнековые; 4,5 – лопастные; 6,7,8 – ленточные;

9,10,11,12 – турбинные; 13,14,15,16 – пропеллерные

Рисунок 1.5. – Схемы типов мешалок.

Горизонтальный смеситель обычно подходит как для сухого, так и для влажного материала. Один из примеров конструкции представляет собой расположенные на центральном валу лопасти, а внизу выгрузной шнек, который доставляет готовую смесь к выгрузному окну (рисунок 1.6). Также существуют конструкции с двумя вращающимися навстречу друг другу валами, что обеспечивает более быстрое перемешивание материала (рисунок 1.7).

Диагональный смеситель максимально эффективно действует при смешивании порошкообразной массы и мелких гранулированных кормов, также эффективен при добавлении жидких ингредиентов: патока, жир, масло и пр.

Планетарный шнековый смеситель непрерывного действия, изображенный на рисунке 6, предназначен для обработки сухих зернистых материалов. Принцип его работы основывается на особом расположении вала шнековой мешалки, который установлен с эксцентриситетом относительно вертикальной оси конической формы корпуса смесителя. Движение мешалки отличается

сложной траекторией: она вращается вокруг своей собственной оси (это называется относительным движением), а также одновременно совершает планетарное движение вокруг оси корпуса – переносное движение.

Также существуют смесители, в которых привод шнека осуществляется от двигателя, установленного на верхней крышке. В таком случае возрастает нагрузка на привод вращения шнека, что усложняет конструкцию.

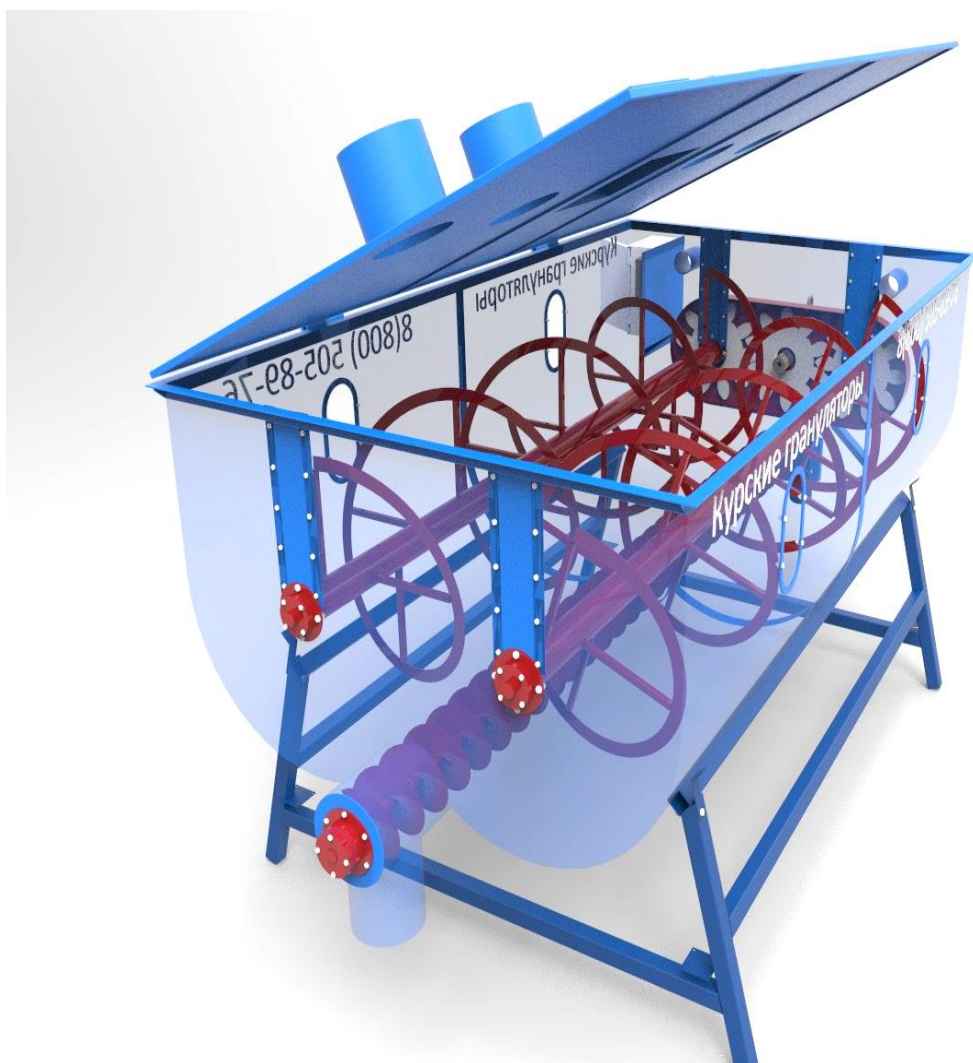
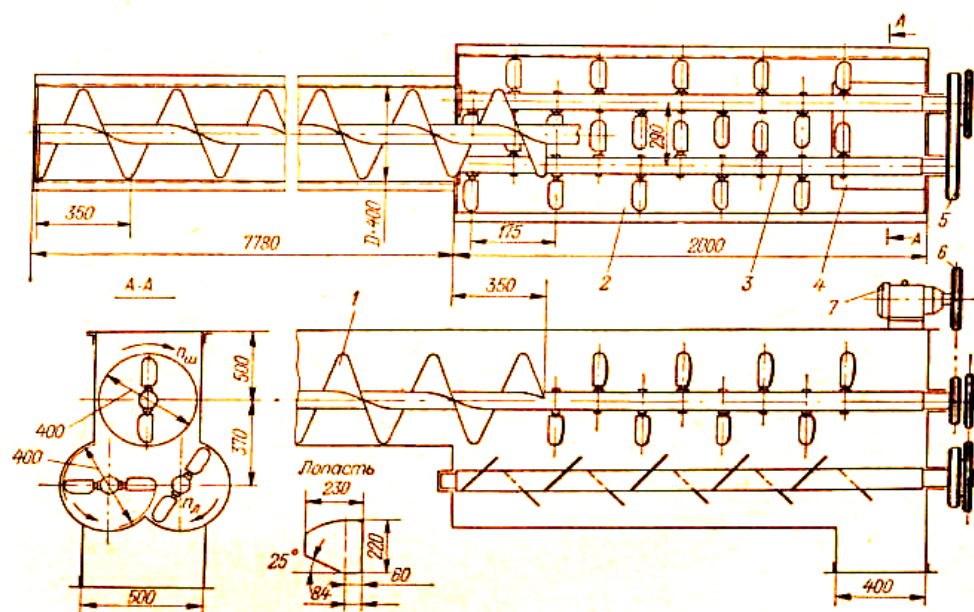


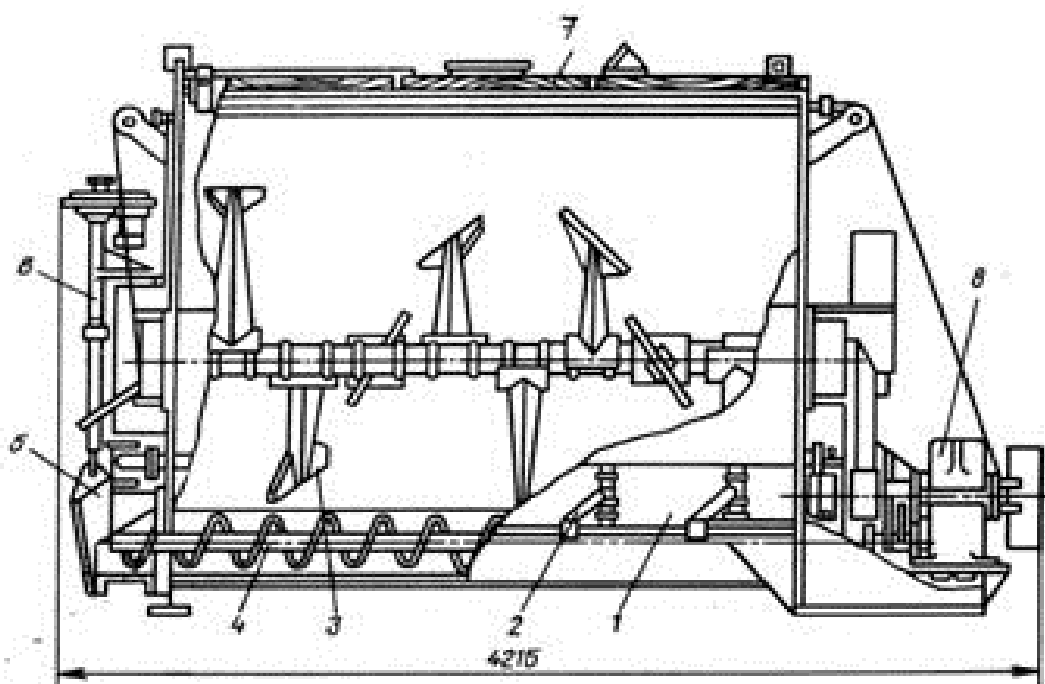
Рисунок 1.6. Внешний вид горизонтального смесителя

В патенте рассмотрен процесс приготовления кормосмеси с использованием бункерного смесителя кормов, в котором рабочий орган вращается по кругу, осуществляя перемешивание около стенок бункера [39].

Смесители данного типа отличаются высокой металлоемкостью, массой и габаритами. Существующим недостатком является его периодичный процесс работы [39].



1 — горизонтальный шнек; 2 — головка лопастная двухвальная; 3 — вал лопастной; 4 — выгрузное окно; 5 — шестерни; 6 — венец звездочки сменный; 7 — электродвигатель
Рисунок 1.7. — Схема экспериментального смесителя влажных кормов конструкции ВНИИЖивмаша



1 — корпус; 2 — парораспределитель; 3 — лопастная мешалка; 4 — выгрузной шнек; 5 — выгрузная горловина с клиновой задвижкой; 6 — система управления; 7 — крышка; 8 — привод
Рисунок 1.8. — Схема смесителя С-12

Еще одна из распространенных конструкций смесителей кормов — это горизонтальные смесители типа СК-3.0. (рисунок 1.10.). Компоненты для приго-

товления кормов засыпают в смесительную камеру 2, при включении электропривода 7 начинает вращаться вал с ленточной навивкой 4 и осуществляет перемешивание компонентов кормосмеси. По окончании процесса перемешивания корм выгружают через выгрузное окно 6.

Согласно проведенным исследованиям данного смесителя оптимальная равномерность смешивания достигается лишь при определенном коэффициенте заполнения смесителя. В случае сильных отклонений появляется неравномерность смешивания [39].

Одной из современных моделей смесителя является смеситель кормов СГО, его особенность заключается в U-образной форме корпуса, в котором и происходит смешивание. Данные модификации смесителей более предпочтительны при приготовлении концентрированных кормов для всех видов с/х птицы, рыбы, кроликов и других видов животных.

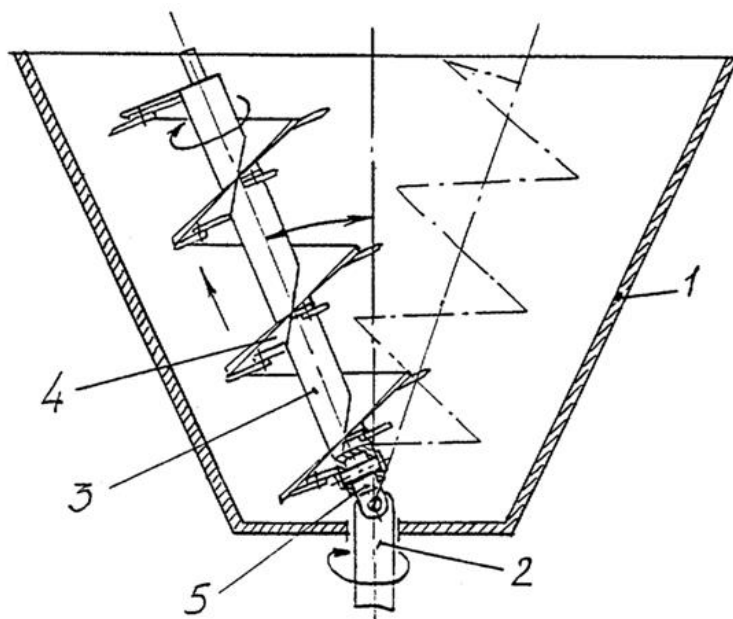
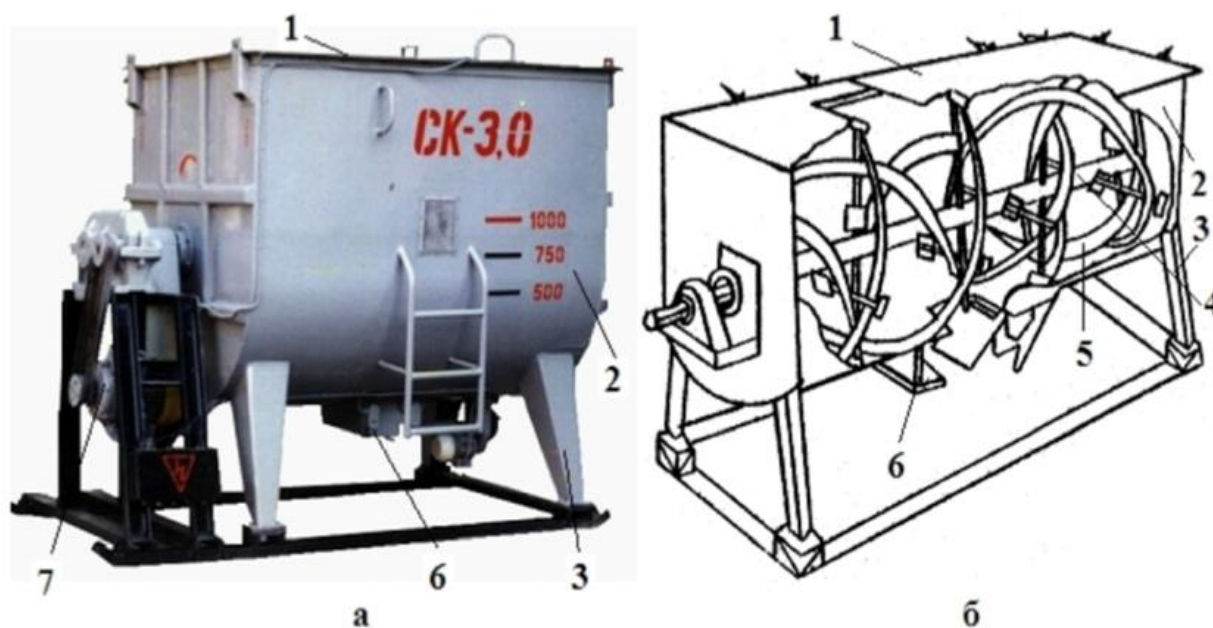


Рисунок 1.9. – Схема планетарного шнекового смесителя сухих кормов RU211753C2

В конструкцию смешивающего механизма смесителя входят несколько ключевых элементов. Основной вал оснащен спицами, которые расположены под прямым углом друг к другу, что позволяет улучшить эффективность перемешивания. Кроме того, механизм включает два спиральных контура, которые

направляют продукт в противоположные стороны, обеспечивая равномерность смешивания. Для предотвращения образования «мертвых зон», где перемешивание могло бы быть затруднено, используются специальные чистики, которые также позволяют полностью выгружать содержимое смесителя без остатка [83].



1 – крышка; 2 – корпус со смесительной камерой; 3 – рама; 4 – вал с ленточной навив кой (шнек); 5 – лопасти вала; 6 – выгрузное окно; 7 – электропривод.

Рисунок 1.10. – Общий вид и схема горизонтального смесителя кормов СК-3.0

С точки зрения удобства эксплуатации, крышка смесителя оснащена лотком с шиберной заслонкой, упрощающей процесс загрузки и разгрузки. Выгрузной патрубок расположен немного в стороне от центральной оси устройства, что позволяет легко разместить под ним емкость для сбора смеси или конвейер для дальнейшей транспортировки.

Горизонтальный смеситель СГО располагает специальными штуцерами, предназначенными для ввода жидких компонентов непосредственно в процессе смешивания. Это позволяет эффективно работать с более влажными смесями, обеспечивая равномерное распределение всех составляющих.

Таблица 1.1 – Сравнение характеристик распространенных смесителей кормов

Марка и модель	Мощность, кВт	Рабочий объем, м ³	Производительность, т/ч	Энергоемкость, кВтч/т	Разовая загрузка, кг	Время смешивания, мин	Время выгрузки, мин	Однородность, %	Стоимость, руб
СГО-1,5	1,5	0,25	0,45	3,33	140-180	3	3-5	95-98	84000
СТ-1,5	1,5	0,25	0,36	4,16	120	2-6	-	98	73000
СЛГ-1А	15	1	1,5	10	500-700	1-2	0,25-0,5	92-98	1526000
СВГ_500	4	0,5	0,9	4,44	250	1,5-6	2-5	85-95	218000
СКК-2,3	2,4 5	1,9	0,86	2,84	860	15	15	85-95	225000
СВ-2,3	2,2	2,3	0,75– 1	2,2	1000	5-15	10-15	–	118000
НД-195	4	-	0,5- 0,8	5	–	–	–	80	175000
СШЛ-3	7,5	-	3,2	2,34	–	10	5	86	210000

Предназначен для смешивания многокомпонентных комбикормов с высокой степенью однородности и приготовления белково- витаминно-минеральных добавок (БМВД) из белковой основы и премиксов с минимальными затратами.

Горизонтальные лопастные миксеры СВГ применяются для приготовления белково-витаминно-минеральных кормов (БВМК) из белковых баз и премиксов с минимальными затратами в рамках фермерского хозяйства. Эти

устройства предназначены для создания равномерных смесей из сухих, сыпучих, влажных и жидких компонентов корма. В процессе перемешивания смесь не разделяется на отдельные фракции. Компоненты не подвергаются дополнительному нагреву или измельчению. Допустимо добавление жидких ингредиентов до 15% от общего объема смеси. Конструкция рабочих элементов обеспечивает полную самовыгрузку миксера. Подшипники вынесены наружу, благодаря чему смесь защищена от возможного попадания подшипниковой смазки, а подшипники защищены от попадания продуктов. Узлы на подшипниках оснащены сальниками для защиты от пыли [77].

Анализ применения кормосмесителей всех типов в животноводстве выявляет ряд проблем, препятствующих широкому проникновению данной технологии в отрасль. Разберем основные из них с использованием научной и технической терминологии.

1. Недостаточный комплексный подход к интеграции современных технологических решений в молочном животноводстве. Проблема заключается в отсутствии системного внедрения инноваций, что приводит к неэффективному использованию потенциала новых технологий. Это включает в себя недостаточное внимание к адаптации инновационных кормосмесителей к специфическим условиям ферм, что снижает их общую производительность и положительное влияние на параметры продуктивности животных [84], [87].

2. Человеческий фактор и проблемы эксплуатации техники. Данная проблема охватывает вопросы квалификации обслуживающего персонала, соблюдение правил эксплуатации и сохранность оборудования. Недостаточная подготовка работников к работе с новыми технологическими устройствами может привести к снижению эффективности их использования, увеличению простоев оборудования и преждевременному износу компонентов.

3. Недостаточность финансовых ресурсов для обслуживания и обновления техники. Множество сельскохозяйственных предприятий сталкиваются с ограниченными бюджетами, что препятствует регулярному техническому обслуживанию и обновлению оборудования. Это вызывает проблему повышения износа технологий, неэффективность процесса кормопроизводства и возможные сбои в кормлении животных [5], [32].

4. Старые конструкции ферм как ограничивающий фактор для внедрения новых технологий. Физическая инфраструктура многих старых ферм не соответствует современным требованиям для размещения и эффективного использования новых технологических решений, включая кормосмесители. Это может включать в себя недостаточные размеры помещений, несовместимость архитектурных сооружений с новыми технологическими линиями и необходимость значительных капиталовложений для модернизации объектов, что затрудняет процесс оптимизации методов содержания крупного рогатого скота и производства кормов [27], [46], [55].

Таким образом, тенденции развития смесителей совершенствуются за счет разработки новых технических и конструктивных решений на основе эффективности технико-экономических показателей и параметров устройств для смешивания. Немаловажным является интенсивность процесса смешивания с помощью лопастей и других элементов, способствующих лучшей однородности получаемых концентрированных кормов [5], [37], [68].

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о малой эффективности использования данного технологического оборудования в условиях производства продукции животноводства.

Приведенные выше смесители имеют значительную потребляемую мощность, не высокую однородность смеси получаемого корма, имеют низкую эксплуатационную надежность [75].

Классификация оборудования для смешивания кормов позволяет определить важнейшие направления в разработке оборудования для подготовки кормов к скармливанию на животноводческих фермах.

На основании разработанной классификации (рисунок 1.11), были выявлены перспективные направления в разработке: по влажности смешиваемых кормов – для сыпучих кормов, непрерывного действия, по типу рабочего органа – шнековые, по расположению корпуса в пространстве – горизонтальные, по количеству валов (рабочих органов) – одновальные; по количеству заходов шнеков вала – многозаходные, по типу мешалки – с перфорированной навивкой шнека.

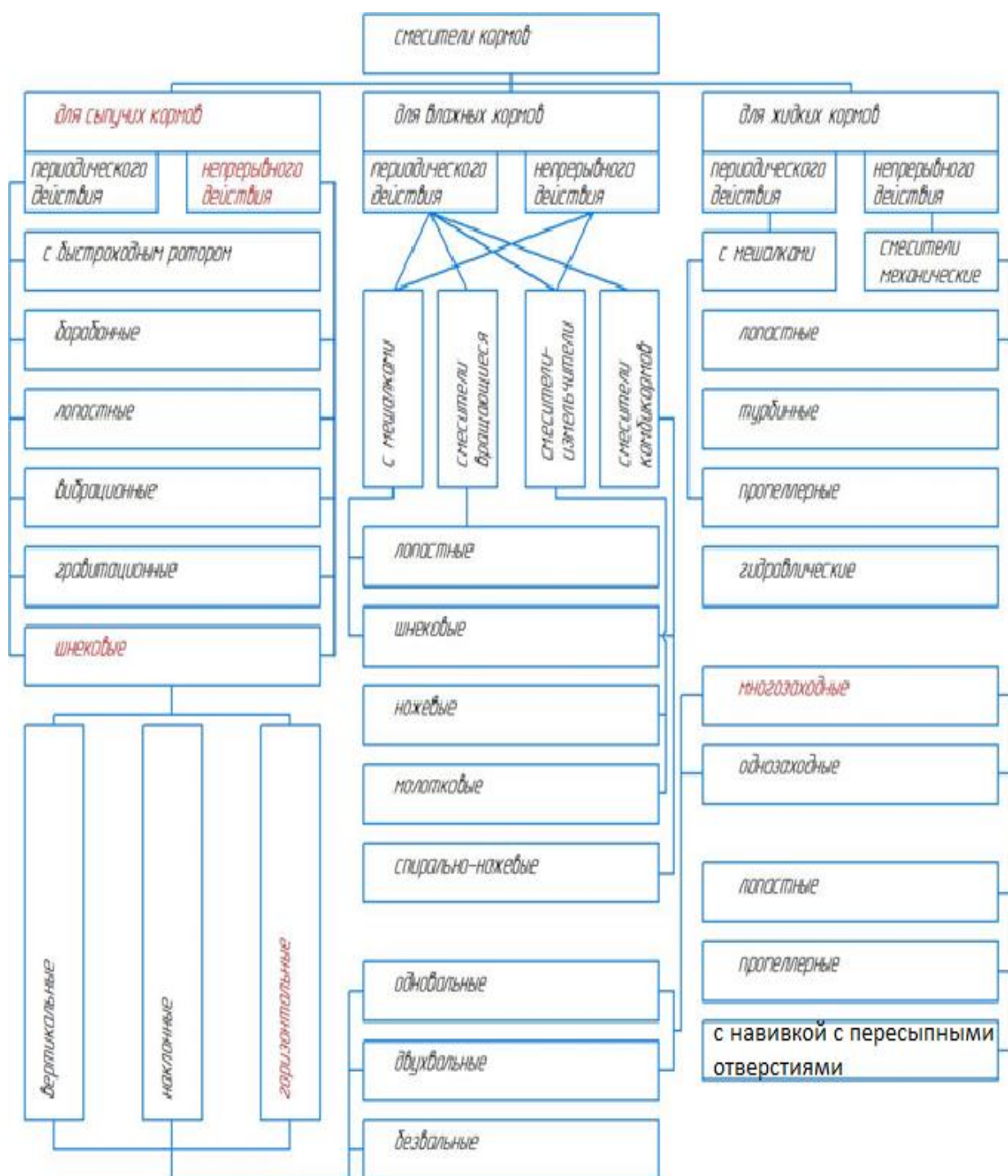


Рисунок 1.11. – Классификация оборудования для смешивания кормов

Современные технические средства смешивания кормов должны быть многофункциональными, обеспечивающими однородность получаемой массы корма, соответствующей зоотехническим требованиям; малоэнергоёмкими, безопасными для животных и обслуживающего персонала; имеющие возможность работы автономно или в составе поточно-технологических линий подготовки кормов на животноводческих фермах.

1.3 Краткий обзор исследований процесса смешивания концентрированных кормов

Смесители, работающие в режиме непрерывного действия, получили широкое распространение в самых разных отраслях промышленности и хозяйственной деятельности [47]. Процесс смешивания активно используется в химической и строительной сферах, а также в перерабатывающей промышленности. Кроме того, он играет важную роль в сельском хозяйстве, особенно в контексте изготовления комбикормов и полнорационных кормосмесей для животных. В результате такого широкого применения существует множество научных и практических исследований, посвящённых изучению и оптимизации этих процессов. В исследованиях вопросов, касающихся смешивания, учёные пришли к выводу, что процесс смешивания является сложным механическим процессом [43], [72].

Неотъемлемое, препятствующее смешиванию является явление сегрегации – это сосредоточение частиц, близких по массе и размерам в соответствующих участках смесителя, под действием инерционных и гравитационных сил [32], [85].

Один из подходов к описанию процессов, происходящих в смесителях периодического действия, основан на их разделении на характерные зоны.

Такой метод применил и В.И. Гусейнов, оценив сложность протекающих процессов. Он предложил динамическую модель, где смеситель представлен как последовательность из n участков, которые соединены между собой. Объёмы смешивания этих участков равны и включают в себя зону идеального смешивания и зону застоя. Для расчета необходимой мощности привода смесителя предлагается анализировать все ее составляющие по отдельности. Большинство исследований механизмов смешивания кормов было сосредоточено на работе с сыпучими кормами или в густых средах. В рамках данного исследования рассматривался процесс подготовки кормовой смеси для крупного ро-

гатового скота с использованием лопастных смесителей. Эти исследования помогают лучше понять, как различные компоненты взаимодействуют и распределяются в смесителе, обеспечивая качество полученного корма.

Тот же недостаток присущ и другому уравнению, описывающему процесс смешивания [42]:

$$v_c = A((ot)^B + D \lg(a > t)), \quad (1.2)$$

где v_c - относительная неоднородность смеси; t - длительность смешивания; A, B, D - постоянные величины, зависящие от физико-механических свойств ингредиентов и технологических факторов смесителя, причем A и B - эмпирические коэффициенты, характеризующие «идеальное» смешивание, D - эмпирический коэффициент, характеризующий разделение смеси.

Большинство исследований по механике смешивания кормов было сосредоточено на работе с сыпучими материалами или в вязких средах. В данном исследовании изучался процесс подготовки кормовой смеси для крупного рогатого скота с использованием лопастных смесителей. Эти исследования способствуют более глубокому пониманию взаимодействия и распределения различных компонентов в смесителе, что, в свою очередь, обеспечивает высокое качество получаемого корма.

Мощность, потребляемая смесителем, расходуется на преодоление следующих сил [51]:

$$N = N_{и} + N_{л} + N_{к} + N_{е} + N_{з}, \quad (1.3)$$

где $N_{и}$, $N_{л}$, $N_{к}$, $N_{е}$, $N_{з}$ - значения мощности, затрачиваемые соответственно на преодоление сил инерции, трения смеси о лопасть, трения смеси о поверхность корпуса, внутреннего трения массы и защемления массы между корпусом и лопастью.

Предыдущие исследования показали, что дробилки, оснащенные ножевыми инструментами, являются наиболее эффективными с точки зрения энергозатрат. Такая эффективность объясняется тем, что в конструкциях дробилок-смесителей для кормов альтернативные способы измельчения, кроме резания,

практически неприменимы. Это обусловлено низкой скоростью вращения ножей и отсутствием противорежущих поверхностей, необходимых для иных методов. Исследований, посвященных процессам измельчения в смесителях периодического действия, немного, что подчеркивает актуальность и необходимость дальнейшего изучения этой области.

Ю. Б. Курков разработал математическую модель, позволяющую оценить эффективность технологий, применяемых для получения и использования кормовых смесей, обогащенных высокобелковыми компонентами. Эта модель помогает установить, как различные технологические процессы влияют на качество и количество конечного продукта [11], [67], [74].

Д. П. Сысосев в ходе своих исследований создал математическую модель, которая описывает процесс смешивания различных компонентов в кормовой смеси посредством шнекового рабочего органа. Эта модель играет ключевую роль, так как позволяет глубоко понять и обосновать принцип послойной загрузки компонентов в бункер. Послойная загрузка обеспечивает более равномерное распределение ингредиентов в смеси, что, в свою очередь, может улучшать качество готового корма. Кроме того, использование такой модели в практических применениях может привести к повышению эффективности процессов приготовления кормов, минимизации потерь и рациональному использованию ресурсов в сельскохозяйственном производстве [10], [73], [89].

С. Ю. Астапов провёл обширное исследование, в рамках которого он выявил ключевые теоретические зависимости, касающиеся работы шнеков в смесителях. Эти зависимости основываются на анализе движения как отдельной материальной точки, так и сплошного потока материала внутри шнекового смесителя. Полученные результаты позволяют глубже понять, как ведут себя различные компоненты в процессе смешивания, и дают возможность оптимизировать работу шнековых смесителей. Такие знания особенно полезны для прогнозирования эффективности смешивания и разработки новых методов для улучшения технологических процессов [1]:

$$Q = 60 \frac{\pi(D-d)}{4} \cdot \left(\frac{30 \sqrt{\frac{g \cos \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{fr} - \frac{g \sin \gamma}{r}}}{\pi} \right) \gamma k_3 k_0, \quad (1.4)$$

где D – диаметр винта, м; d – диаметр вала винта, м; s – шаг винта шнека, м; γ – объемный вес продукта в кг/м³; k_3 – коэффициент заполнения шнека; k_0 – коэффициент, учитывающий уменьшение площади поперечного сечения продукта вследствие наклона шнека к горизонту.

Исследования показали, что увеличение скорости вращения шнеков миксера улучшает качество перемешивания кормов. Однако, при значениях частоты выше 200 оборотов в минуту, интенсивность и качество перемешивания начинают снижаться. В оптимальных условиях, процесс смешивания должен длиться около 8 минут. Продолжение смешивания сверх этого времени нецелесообразно, так как приводит к увеличению затрат энергии без улучшения результата. Более того, существует риск ухудшения качества из-за начала процесса сегрегации.

С. И. Воронцов определил максимально допустимую частоту вращения шнека [81]:

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{g(fs \sin \alpha - \cos \alpha)}{R(\cos \varphi \cos \alpha - f \cos \varphi \sin \alpha - 2f)}}. \quad (1.5)$$

Теоретический анализ, проведённый в ходе изучения процесса приготовления кормовой смеси, показал, что одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность процесса, является оптимизация угла установки лопастей-ножей нижнего выгрузного шнека. Правильно подобранный угол позволяет значительно снизить потребление энергии, необходимой для смешивания кормовых компонентов. Оптимизация этого угла способствует не только экономии энергии, но и улучшению качества перемешивания. Это связано с тем, что правильное направление и скорость потока материала внутри смесителя позволяют обеспечить равномерное распределение компонентов. Таким образом, оптимизация угла установки лопастей-ножей является важным шагом в

разработке более эффективных и экономичных технологий приготовления кормовых смесей [30].

1.4 Выводы, цели и задачи.

На сегодняшний день имеется широкий выбор смесителей кормов различных конструкций, различного принципа действия и различного бюджета. Но, к сожалению, некоторые позиции остаются невосполненными, хотя спрос на смесители концентрированных кормов не непрерывного действия существует.

В данный момент отсутствуют компактные смесители концентрированных кормов стоимостью до 200000 рублей и производительностью свыше 1 т/ч.

Исследования машин и оборудования для смешивания и подготовки кормов к скармливанию привели к следующим выводам:

- выявлены пути совершенствования технических средств смешивания кормов, в основу которых положен принцип создание турбулентного движения потока корма в мешалке;
- усовершенствована классификация оборудования для смешивания кормов и определено перспективное направление, предполагающее использование в качестве рабочего органа одновального горизонтального шнека с многозаходной прутковой навивкой;
- анализ показал, что в настоящее время ведется большое количество исследований реализации технологического процесса смешивания концентрированных кормов, которые являются основой для повышения эффективности и разработки новых конструкций машин.

Цель исследований: обосновать параметры и режимы работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, для повышения однородности смешивания при минимальной возможной энергоемкости.

Задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологическую схему смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой

с пересыпными отверстиями;

– теоретическим путем получить аналитические зависимости, характеризующие взаимосвязь между технологическими и конструктивно-режимными параметрами с обоснованием однородности, производительности и энергоемкости процесса смешивания концентрированных кормов;

– изготовить экспериментальный образец смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями и получить зависимости, характеризующие технологический процесс смесителя концентрированных кормов, и на их основе оптимизировать параметры и режимы работы смесителя;

– установить степень сходимости теоретических и экспериментальных исследований смесителя;

– дать экономическую оценку эффективности внедрения предложенного смесителя.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ СМЕСИТЕЛЕМ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ В ВИДЕ ШНЕКА, ОСНАЩЕННОГО НАВИВКОЙ С ПЕРЕСЫПНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы смесителя с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями

Подбор эффективного технологического оборудования для смешивания концентрированных кормов представляет собой сложную задачу. Это обусловлено тем, что такие корма состоят из множества различных компонентов, каждый из которых обладает своими уникальными свойствами и требованиями к обработке. Помимо этого, существуют строгие стандарты качества, которым эти корма должны соответствовать для обеспечения здоровья и продуктивности животных. Поэтому при выборе оборудования необходимо учитывать большое количество факторов, таких как устойчивость к износу, энергоэффективность и способность к равномерному смешиванию ингредиентов. В связи с этим разработка и совершенствование технологических решений в этой области требуют комплексного и инновационного подхода.

С учетом достоинств и недостатков известных смесителей, был разработан шнековый смеситель концентрированных кормов, новизна которого подтверждена патентами на изобретение №2813791 «Смеситель кормов», №2805955 «Смеситель кормов».

Смеситель кормов (рисунок 2.1), включает корпус 1, загрузочный бункер 2 и выгрузное окно 3, во внутренней полости корпуса выполненного в виде трубы установлен вал 4. На одном конце вала 4 установлена мешалка, выполненная в виде шнека с перфорированной навивкой 5, на другом конце – шнек 6 с винтовой навивкой. Корпус 1 разделен на приемную и рабочую камеры 7

и 8 соответственно. Расположенные на валу 4 мешалка и шнек 6 соединены между собой посредством шплинтового соединения 9.

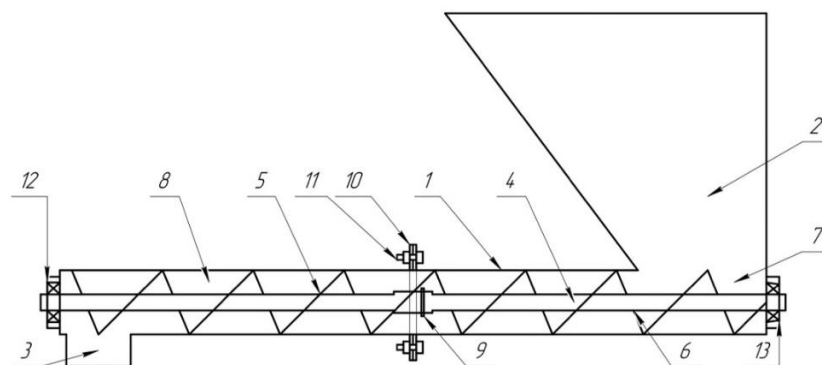


Рисунок 2.1. – Схематический чертеж смесителя кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенный навивкой циркуляционными отверстиями

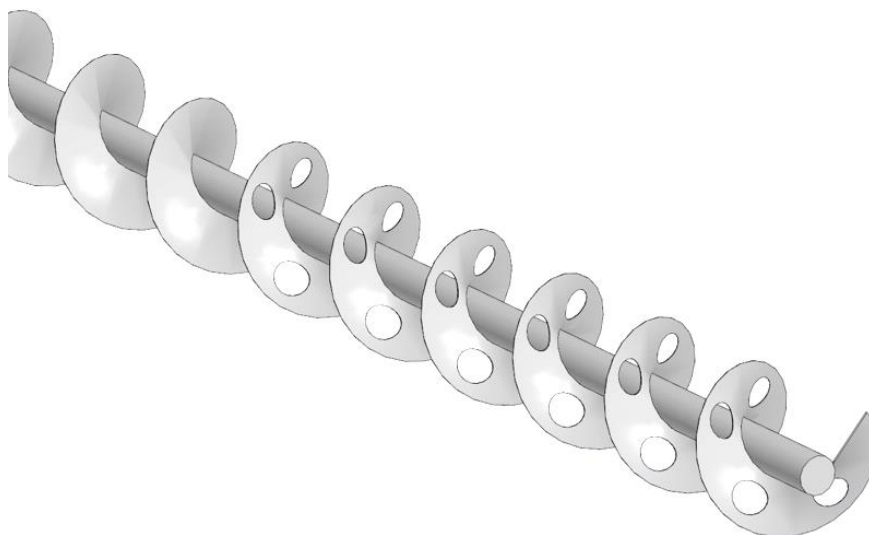


Рисунок 2.2. – Трехмерная модель рабочего органа смесителя концентрированных кормов

Шнек 6 находится в приемной камере 7 под загрузочным бункером 2, а мешалка – в рабочей камере 8. Рабочая камера 7 и приемная камера 8 в месте соединения шнека 6 с мешалкой на торцах имеет фланцы 10 для обеспечения болтового соединения 11 этих камер корпуса. Вал 4 опирается со стороны выгрузного окна на радиальный подшипник 12, а со стороны бункера на конический подшипник 13.

Такая конструкция смесителя обеспечивает возможность замены мешалки с другими параметрами, в зависимости от вида кормов. Смеситель кормов работает следующим образом.

Корма подают в загрузочный бункер 2, откуда попадают в приемную камеру 7, в которой расположен шнек 6, при его вращении осуществляется первичное перемешивание и дозирование кормов. Далее корма попадают в рабочую камеру 8, где за счет пересыпания через перфорированную навивку мешалки 5 создается турбулентный поток, осуществляющий перемешивание кормов и выгрузку готовой смеси через выгрузное окно 3 [10].

Предлагаемая конструкция, по сравнению с прототипом и другими известными техническими решениями, имеет следующие преимущества:

- снижение энергоемкости процесса;
- повышение качества смешивания кормов, за счет создания турбулентного движения потока корма в мешалке.

Предлагаемая конструкция по сравнению с другими известными техническими решениями имеет следующие преимущества:

- снижение энергоемкости процесса;
- повышение качества смешивания кормов;
- создание турбулентного движения потока корма в мешалке.

Ключевые особенности конструкции предлагаемого смесителя.

1. Выполнение мешалки и шнека отдельно и соединение их между собой посредством винтового соединения и разделение корпуса на приемную и рабочую камеры обеспечивает возможность смены мешалки для смешивания кормов различной фракции.

2. Перфорация витков шнека снижает металлоемкость процесса перемешивания и приводит к интенсификации процесса смешивания, что позволяет повысить однородность смешивания [14].

Основные факторы, влияющие на качество смешивания ингредиентов приводятся ниже:

- физико-механические свойства ингредиентов. Размеры, влажность, коэффициент внешнего и внутреннего трения, соотношение долей ингредиентов, плотность в ворохе;
- кинематические параметры, частота вращения шнека;
- конструктивные параметры, радиус шнека, радиус вала, радиус отверстий, радиус окружности центра отверстий, шаг витка шнека, коэффициент заполнения канала, угол атаки витка шнека.

2.2 Получение аналитических зависимостей для определения производительности смесителя с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями

Для расчета производительности шнекового смесителя условимся, что производительность смесителя можно рассматривать как производительность 1 витка шнека, так как он имеет постоянный шаг навивки, диаметр вала и т.д.

В таком случае, выразим объемную производительность с использованием частоты вращения вала шнека и объема между двумя соседними витками шнека:

$$V_q = V \cdot n \cdot 60, \quad (2.1)$$

где V_q – объемная производительность, м³/ч; V – объем корма между двумя соседними витками шнека, м³; n – частота вращения, об/мин;

Для определения массовой производительности одного витка необходимо учитывать плотность перемещаемого корма ρ :

$$Q_m = \rho \cdot V \cdot \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \cdot 60, \quad (2.2)$$

где Q_m – базовая массовая производительность смесителя, кг/ч; ρ – плотность кормосмеси, кг/м³; ω – частота вращения, с⁻¹.

Также необходимо совершить переход в единицах измерения частоты вращения: от об/мин к с^{-1} , чтобы перейти к использованию переменной ω , которая является системной величиной.

Зависимость выше в полной мере не отражает производительность, так как переменная V не учитывает объем кормосмеси, вытесняемый валом шнека. Для определения действительного объема кормосмеси, находящегося в смесителе используем простую формулу определения объема:

$$V = S_{\text{раб}} l, \quad (2.3)$$

$$Q_m = \rho \cdot V \cdot \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \cdot 60, \quad (2.4)$$

где $S_{\text{раб}}$ – действительная рабочая площадь шнека, м^2 ; l – расстояние между витками шнека, м.

После преобразования получаем:

$$Q_m = S_{\text{раб}} \cdot l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800. \quad (2.5)$$

Для расчета действительной рабочей площади навивки шнека необходимо учитывать площадь, занимаемую валом шнека. Также необходимо учитывать, что смеситель имеет как шнек, так и мешалку в виде шнека, навивка которой оснащена пересыпными отверстиями, что будет снижать производительность мешалки. В таком случае: обозначим рабочую площадь шнека $S_{1 \text{ раб}}$ а мешалки $S_{2 \text{ раб}}$.

Рассчитаем параметры $S_{1 \text{ раб}}$, $S_{2 \text{ раб}}$, $S_{\text{отв}}$:

$$S_{1 \text{ раб}} = S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}, \quad (2.6)$$

$$S_{2 \text{ раб}} = S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}} - S_{\text{отв}}, \quad (2.7)$$

$$S_{\text{отв}} = N \cdot S_o, \quad (2.8)$$

где $S_{1 \text{ раб}}$, – рабочая площадь шнека, м^2 ; $S_{2 \text{ раб}}$ – рабочая площадь мешалки, м^2 ; $S_{\text{вал}}$ – площадь поперечного сечения вала шнека, м^2 ; $S_{\text{шнек}}$ – площадь поперечного сечения навивки шнека, м^2 ; $S_{\text{отв}}$ – площадь поперечного сечения пересыпных отверстий, м^2 ; S_o – площадь одного пересыпного отверстия, м^2 ; N – количество пересыпных отверстий, шт.

Исходя из того, что шнек и мешалка имеют различную рабочую площадь, их производительность будет отличаться, так как шаг навивки, диаметр шнека, диаметр вала и частота у них будут всегда одинаковыми, производительность будет отличаться.

После преобразования уравнений выше получаем следующие выражения:

$$Q_{1\text{ м}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}})l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.9)$$

$$Q_{2\text{ м}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}} - S_{\text{отв}})l \cdot \omega \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.10)$$

где $Q_{1\text{ м}}$ – массовая производительность шнека, кг/ч; $Q_{2\text{ м}}$ – массовая производительность мешалки, кг/ч.

Также можно легко определить разницу в массовой производительности шнека и мешалки:

$$Q_{\Delta\text{м}} = S_{\text{отв}} \cdot l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.11)$$

где $Q_{\Delta\text{м}}$ – разница в массовой производительности шнека и мешалки, т/ч;

Также необходимо учитывать, что выражения 2.10 и 2.11 не полностью отражают действительную производительность смесителя, поскольку не учитывает такой параметр, как коэффициент заполнения шнека смесителя U , который напрямую влияет на массовую производительность смесителя:

$$Q_{1\text{ м}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}})U \cdot l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.12)$$

$$Q_{2\text{ м}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}} - S_{\text{отв}})U \cdot l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800. \quad (2.13)$$

Аналогично для разницы массовой производительности шнека и мешалки:

$$Q_{\Delta\text{м}} = S_{\text{отв}} \cdot U \cdot l \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.14)$$

где U – оптимальный коэффициент заполнения камеры смешивания (0,3-0,7).

Благодаря наличию пересыпных отверстий в навивке шнека будет достигаться более высокая однородность приготавливаемой кормосмеси, но вместе с этим через пересыпные отверстия частицы кормосмеси не будут так активно перемещаться вперед по ходу движения корма, а будут оставаться на месте, соответственно в первой камере смесителя коэффициент заполнения U

будет увеличиваться, а во второй – снижаться. Данный процесс представлен на рисунке 2.3.

Для расчета снижения производительности, что является прямым следствием снижения коэффициента заполнения смесителя U , необходимо ввести коэффициент пересыпания, который будет зависеть от разницы производительности шнека и мешалки:

$$k = \frac{Q_{\Delta m}}{Q_1 m} = \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}}, \quad (2.15)$$

где k – коэффициент пересыпания кормосмеси.

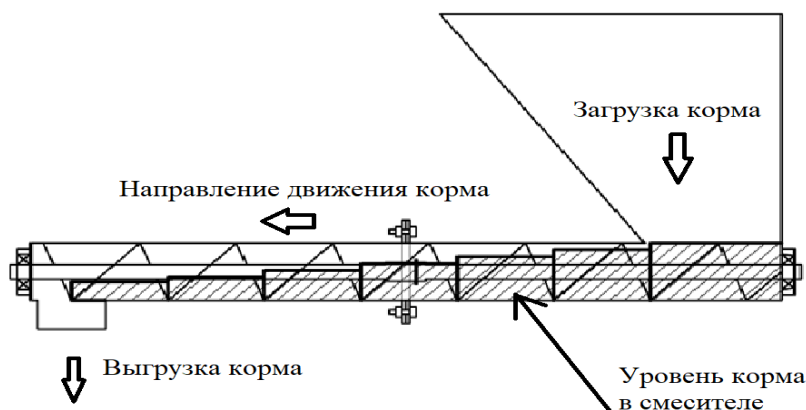


Рисунок 2.3. – Схема заполнения смесителя кормосмесью

Таким образом, при каждом обороте вала шнека, масса корма $Q_{\Delta m}$ из второй (по ходу движения корма) камеры будет пересыпаться в первую камеру, повышая коэффициент её заполнения с каждым оборотом вала шнека. При увеличении коэффициента заполнения первой камеры смесителя возрастает объем корма, который попадает во вторую камеру смесителя, что напрямую влияет на показатель $Q_2 m$, что ведет к возрастанию показателя $Q_{\Delta m}$. Так будет происходить, пока коэффициент U заполнения первой камеры не будет близок к $U=1$.

Данный процесс напрямую влияет на изменение производительности от периода работы смесителя. Для определения времени, требующегося на стабилизацию процесса смешивания, необходимо определить, за какое число оборотов вала шнека будет достигнута стабильная работа смесителя. Это напрямую будет влиять на изменение производительности смесителя во времени.

Для начала определим, какой рабочий объем первой и второй камеры смесителя:

$$V_{\text{рк } 1} = S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{ш}} , \quad (2.16)$$

$$V_{\text{рк } 2} = S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{меш}} , \quad (2.17)$$

где $V_{\text{рк } 1}$ – рабочий объем первой камеры, м³; $V_{\text{рк } 2}$ – рабочий объем второй камеры, м³; $L_{\text{ш}}$ – длина шнека, м; $L_{\text{меш}}$ – длина мешалки, м³.

Необходимо отметить, что при начале работы смесителя потребуется n оборотов вала шнека для перемещения корма от загрузочного бункера выгрузному окну:

$$n_x = \frac{L_{\text{ш}} + L_{\text{меш}}}{l} , \quad (2.18)$$

где n_x – количество холостых оборотов при загрузке смесителя.

В момент выгрузки первой порции корма после «холостого» вращения вала шнека, коэффициент заполнения второй камеры будет близок к нулю, поскольку часть корма будет пересыпаться обратно в первую камеру смесителя.

В таком случае, объем корма в первой камере смесителя на момент окончания холостого вращения шнека можно выразить как:

$$V_{\text{к } 1.1} = V_{\text{рк } 1} \cdot k , \quad (2.19)$$

где $V_{\text{к } 1.1}$ – объем корма в первой камере смесителя в конце холостого вращения шнека, м³.

При каждом последующем обороте шнека из второй камеры в первую будет поступать объем корма, который можно рассчитать, как:

$$V_{\text{пер}} = S_{\text{отв}} \cdot l , \quad (2.20)$$

где $V_{\text{пер}}$ – объем корма, пересыпающийся из второй камеры в первую за один оборот, м³.

Тогда, определить количество оборотов шнека для увеличения коэффициента заполнения первой камеры до $U=1$, можно определить по следующей формуле:

$$n_{U=1} = \frac{V_{\text{рк } 1} \cdot (1-k)}{V_{\text{пер}}} , \quad (2.21)$$

где $n_{U=1}$ – количество оборотов шнека для увеличения коэффициента заполнения первой камеры до $U=1$, ед.

В таком случае, время, необходимое для выхода смесителя на пиковую производительность можно определить как:

$$t_{Q_{\text{пик}}} = \frac{n}{n_{U=1} + n_x}, \quad (2.22)$$

где $t_{Q_{\text{пик}}}$ – время, необходимое для выхода смесителя на пиковую производительность, мин.

Пиковая производительность смесителя будет определяться массовой производительностью мешалки (уравнение 2.14), которая напрямую зависит от коэффициента заполнения камеры смесителя U . Коэффициент заполнения U зависит от коэффициента пересыпания.

При установившемся режиме работы смесителя коэффициент заполнения первой камеры, как было указано выше, будет $U=1$, а коэффициент заполнения второй камеры будет напрямую зависеть от числа витков мешалки, которые имеют пересыпные отверстия, через которые масса корма будет пересыпаться в прошлую по ходу движения корма камеру. Т.е. в каждом последующем витке мешалки будет находиться меньше корма на величину:

$$V_i = V_{i-1} \cdot ((1 - k)^{y+1}), \quad (2.23)$$

где V_i – объем корма, находящегося в i -том витке мешалки, м^3 ; V_{i-1} – объем корма, находящегося в $i-1$ -ом витке мешалки м^3 ; y – число витков, шт.

В таком случае, производительность смесителя при установившемся процессе будет определяться объемом корма, находящимся в пространстве, образованным последним и предпоследним.

В случае, если шнек не имеет пересыпных отверстий, а режим работы смесителя можно определить, как установившийся, V_{i-1} будет определяться как:

$$V_{i-1} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) \cdot l = S_{1 \text{ раб}} \cdot l. \quad (2.24)$$

Преобразовав уравнение 2.24 получим:

$$V_i = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) = S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}). \quad (2.25)$$

Преобразовав уравнение 2.14 получим:

$$Q_{\text{пик}} = S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.26)$$

где $Q_{\text{пик}}$ – пиковая производительность при установившемся режиме работы смесителя, кг/ч.

Таким образом получим формулу для расчета производительности смесителя при установившемся режиме работы:

$$Q_{\text{пик}} = 1800 \cdot S_{1 \text{ раб}} l \rho \frac{\omega}{\pi} \left(\left(1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}} \right)^{y+1} \right). \quad (2.27)$$

Для определения массы корма Q_T , произведенной смесителем за определенный период времени T , с учетом перехода смесителя от холостого хода к режиму пиковой производительности необходимо определить время, затрачиваемое на холостой ход и время, затрачиваемое на переход от ХХ до режима пиковой производительности (в часах):

$$t_{\text{хх}} = \frac{n}{n_x \cdot 60}, \quad (2.28)$$

$$t_{\text{переход}} = \frac{n}{n_{U=1} \cdot 60}, \quad (2.29)$$

где $t_{\text{хх}}$ – время, затрачиваемое на холостой ход, ч; $t_{\text{переход}}$ – время, затрачиваемое на переход от ХХ до режима пиковой производительности, ч.

В таком случае формула, учитывающая холостую работу смесителя и промежуточный режим работы между холостым ходом и режимом пиковой производительности будет иметь вид:

$$Q_T = t_{\text{переход}} \cdot M S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800 + (T - t_{\text{переход}}) \cdot S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.30)$$

где Q – производительность смесителя за период времени, кг; M – коэффициент, применяемый к производительности в переходном режиме (от ХХ до режима пиковой производительности). Поскольку производительность в этом режиме будет возрастать линейно, принимаем $M = 0,5$.

После преобразования получаем зависимость:

$$Q_T = (T - t_{\text{переход}} + M t_{\text{переход}}) S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800,$$

$$Q_T = (T - \frac{n}{n_{U=1} \cdot 60} + M \frac{n}{n_{U=1} \cdot 60}) S_{1 \text{ раб}} \cdot l \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800 ,$$

$$Q_T = 1800 \cdot S_{1 \text{ раб}} l \rho \frac{\omega}{\pi} ((1 - k)^{y+1}) (1 - \frac{n}{\frac{V_{\text{рк 1}} \cdot (1 - k)}{V_{\text{пер}}} \cdot 60} + M \frac{n}{\frac{V_{\text{рк 1}} \cdot (1 - k)}{V_{\text{пер}}} \cdot 60}),$$

$$Q_T = 1800 S_{1 \text{ раб}} l \rho \frac{\omega}{\pi} ((1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})^{y+1}) (1 - \frac{n}{\frac{S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{ш}} (1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})}{S_{\text{отв}} \cdot l} \cdot 60} + M \frac{n}{\frac{S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{ш}} (1 - \frac{S_{\text{отв}}}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})}{S_{\text{отв}} \cdot l} \cdot 60}),$$

$$Q_T = 1800 S_{1 \text{ раб}} l \rho \frac{\omega}{\pi} ((1 - \frac{N \cdot S_o}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})^{y+1}) (1 - \frac{n}{\frac{S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{ш}} (1 - \frac{N \cdot S_o}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})}{N \cdot S_o \cdot l} \cdot 60} + M \frac{n}{\frac{S_{\text{шнек}} \cdot L_{\text{ш}} (1 - \frac{N \cdot S_o}{S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}})}{N \cdot S_o \cdot l} \cdot 60}). \quad (2.31)$$

С учетом формулы 2.31 можно определить не только производительность смесителя будет изменяться по графику ниже.

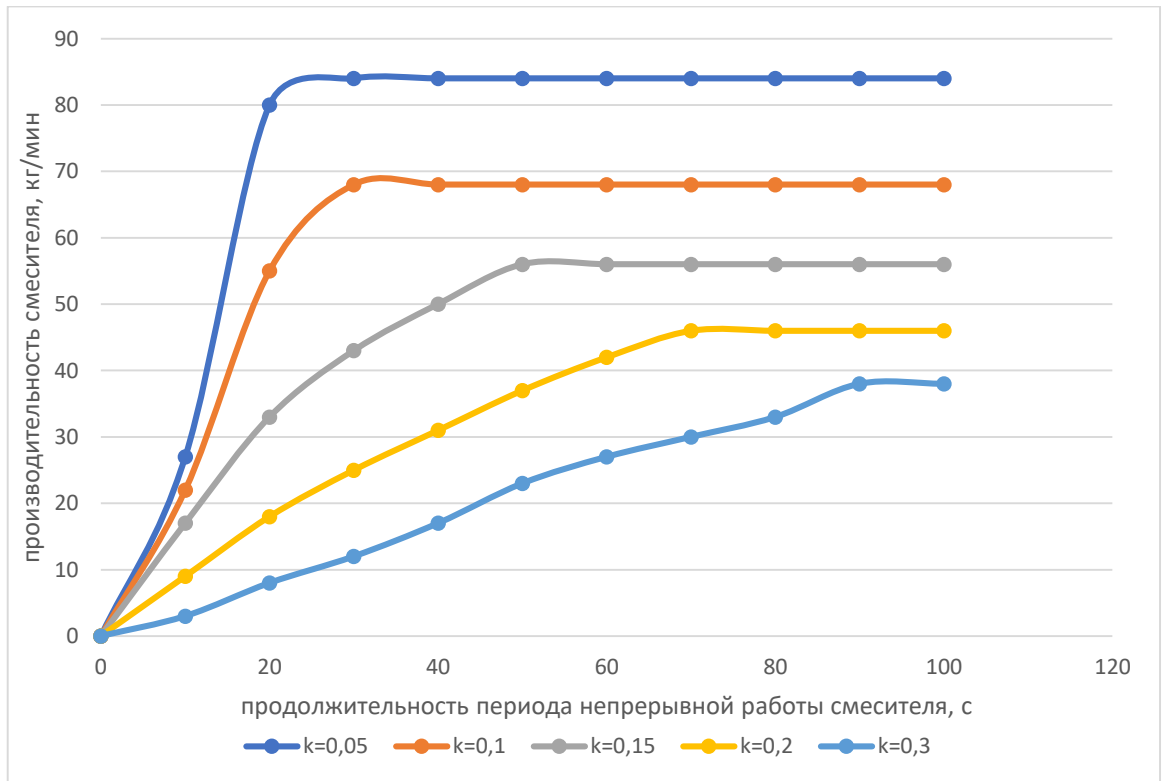


Рисунок 2.4. – График зависимости времени выхода на пиковую производительность от количества пересыпных отверстий

Проанализировав графики на рисунке 2.4 можно сделать вывод, что работа смесителя может быть эффективной даже при коэффициенте пересыпания $k=0,3$, однако, следует отметить, что в таком случае период непрерывной работы смесителя должен быть достаточно продолжительным, так как время, затрачиваемое на переход смесителя к пиковой производительности будет составлять более 60 секунд. Это приведет не только к неэффективному использованию электродвигателя, но также может привести к низкой и (или) нестабильной однородности приготавливаемого корма.

Также, при высоком коэффициенте пересыпания k , средний коэффициент заполнения смесителя U_{cp} будет возрастать в процессе работы. Это положительно повлияет на производительность смесителя, однако на однородность это окажет негативное влияние (рисунок 2.5).

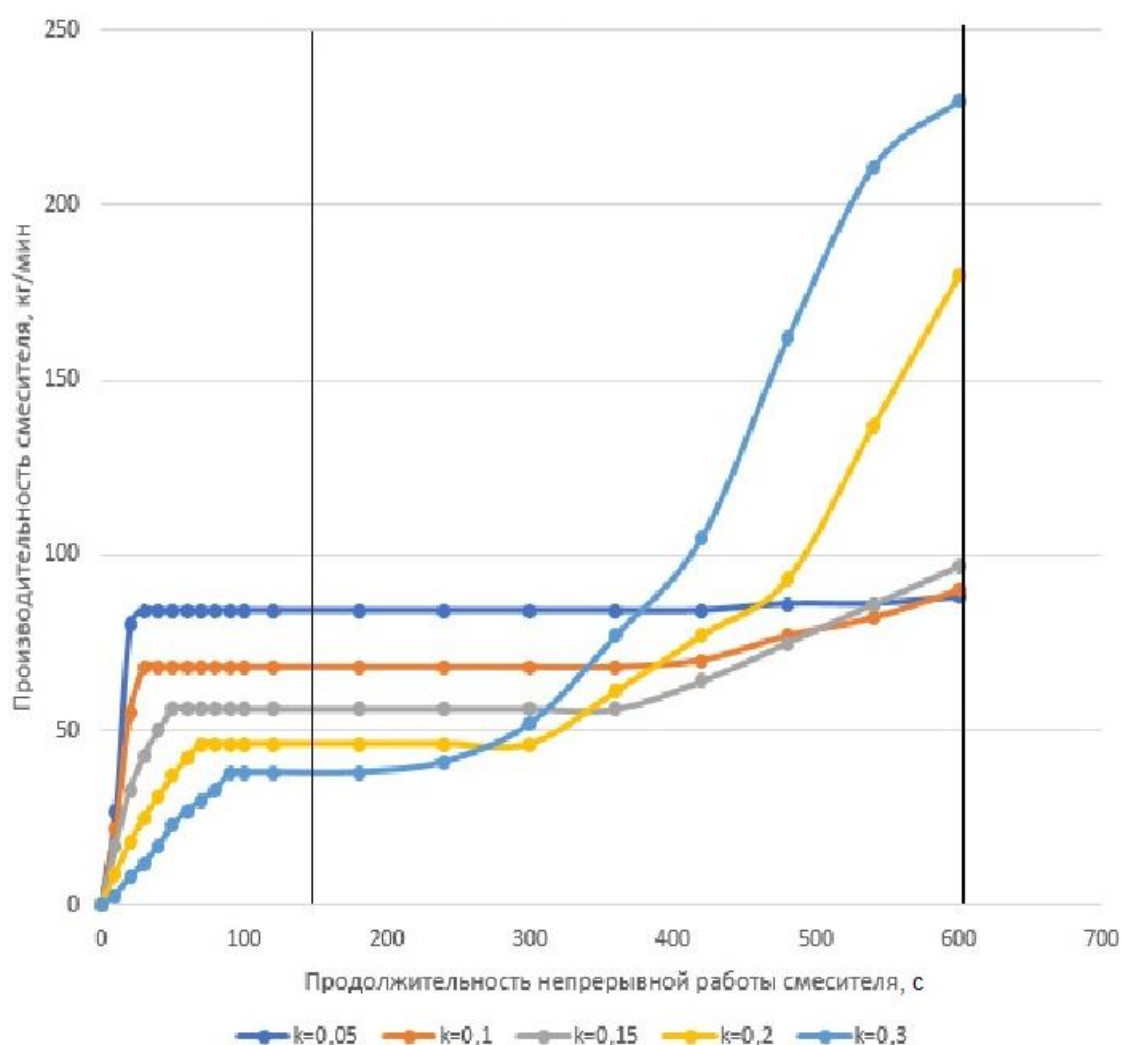


Рисунок 2.5. – График зависимости производительности смесителя при различной продолжительности периода непрерывной работы от коэффициента пересыпания

Из графика, изображенного на рисунке 2.5, следует отметить, что при достаточно высоком коэффициенте пересыпания период, который можно будет считать, как установившийся режим работы смесителя, будет тем короче, чем выше коэффициент пересыпания. Это обосновано тем, что при высоком коэффициенте пересыпания достаточно большая доля корма не будет продвигаться к выгрузному окну смесителя, что приведет к увеличению коэффициента заполнения камеры смесителя.

Таким образом, проанализировав график, изображенный на рисунке 2.3 – определим допустимую продолжительность бесперерывного периода работы смесителя от 2,5 до 10 минут, так как именно в таком случае возможно избежать повышения среднего коэффициента заполнения смесителя $U_{\text{ср}}$, что позволит сохранить высокую однородность приготавливаемого корма.

2.3 Получение аналитических зависимостей для определения мощности, потребляемой смесителем и определение оптимальных конструктивных и режимных параметров

Мощность, потребляемая смесителем концентрированных кормов будет состоять из нескольких слагаемых, которые и будут оказывать ключевое влияние на величину потребляемой смесителем мощности:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (2.32)$$

где, N – мощность, потребляемая смесителем; N_1 – мощность, затрачиваемая при перемещении кормосмеси вдоль смесителя от загрузочного окна к выгрузному; N_2 – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения корма о наливку шнека; N_3 – мощность, затрачиваемая на перемешивание корма мешалкой.

Мощность N можно определить, как:

$$N = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{t}, \quad (3.33)$$

где A_1 – работа, необходимая для перемещения кормосмеси вдоль смесителя от загрузочного окна к выгрузному; A_2 – работа, необходимая для преодоления силы трения корма о навивку шнека; A_3 – работа, необходимая для перемешивания корма мешалкой; t – время.

Работу A_1 можно определить, как:

$$A_1 = \mu_{к-к} mgL, \quad (2.34)$$

где $\mu_{к-к}$ – коэффициент трения скольжения кормосмеси между собой; m – масса кормосмеси, проходящая через смеситель за час, кг.

При установившемся режиме работы смесителя массу m можно определить как:

$$m = Q \cdot t, \\ m = S_{1 \text{ раб}} \cdot lt \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800, \quad (2.35)$$

Тогда A_1 можно рассчитать, как:

$$A_1 = \mu_{к-к} S_{1 \text{ раб}} \cdot lgLt \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800. \quad (2.36)$$

Так как для определения мощности необходимо воспользоваться формулой (2.33):

$$N_1 = \frac{\mu_{к-к} S_{1 \text{ раб}} \cdot lgLt \cdot ((1 - k)^{y+1}) \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \rho \cdot 1800}{t}, \quad (2.37)$$

$$N_1 = 1800 \mu_{к-к} S_{1 \text{ раб}} \rho lgL \frac{\omega}{\pi} ((1 - k)^{y+1}). \quad (2.38)$$

Поскольку в смесителе имеется зазор между вращающимся шнеком и корпусом смесителя, что позволяет минимизировать попадание в кормосмесь металлической стружки, наличие этого зазора приводит к тому, что там могут находиться частицы кормосмеси. В таком случае, при перемещении кормосмеси вдоль корпуса смесителя от загрузочного окна к выгрузному, необходимо учитывать коэффициент трения корма о корм, а не корма о стальную поверхность.

Для расчета мощности, затрачиваемой на преодоление силы трения корма о навивку шнека N_2 , рассмотрим воздействие корма на поверхность шнека, выразив её через крутящий момент, необходимы для того, чтобы вернуть шнек, преодолевая силу трения корма о навивку шнека:

$$N_2 = M_2 \cdot \omega, \\ M_2 = F_{\text{тр}} \cdot R_0, \\ F_{\text{тр}} = \mu_{к-ст} \cdot N_{\text{норм}}, \quad (2.39)$$

где M – крутящий момент на валу шнека; $F_{тр}$ – сила трения корма о навивку шнека; R_0 – радиус окружности расположения центров перфорированных отверстий, расстояние от середины навивки до оси вращения вала шнека; $\mu_{к-ст}$ – коэффициент трения корма по стальной поверхности; $N_{норм}$ – нормальная реакция навивки шнека на корм.

Согласно третьему закону Ньютона, при перемещении кормосмеси вдоль смесителя от загрузочного окна к выгрузному, кормосмесь будет воздействовать на навивку шнека с силой $N_{норм}$, которая будет больше или равна по величине, силе трения корма о корм, возникающей при перемещении кормосмеси от загрузочного окна к выгрузному.

Тогда:

$$N_{норм} = \mu_{к-к} mg. \quad (2.40)$$

Для определения массы кормосмеси m , перемещаемой шнеком в настоящий момент времени, при условии установившегося режима работы смесителя, определим средний коэффициент заполнения смесителя:

Необходимо отметить, что средний коэффициент заполнения смесителя $U_{ср}$ будет повышаться при увеличении коэффициента пересыпания k , поскольку объем пересыпающегося корма в предыдущее пространство между соседними витками будет увеличиваться при увеличении коэффициента k :

$$U_{ср \text{ меш}} = \frac{k \cdot y}{2}.$$

При этом $U_{ср \text{ меш}} \leq 1$

Коэффициент заполнения шнека $U_{ср \text{ шн}}$ будет постоянным на всей его длине, и будет равняться максимальному коэффициенту заполнения мешалки $U_{max \text{ меш}}$:

$$U_{max \text{ меш}} = k \cdot y = U_{ср \text{ шн}} = U_{max \text{ шн}} \leq 1,$$

$$U_{ср} = \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2. \quad (2.41)$$

Тогда:

$$m = U_{ср} \cdot \rho (V_{рк 1} + V_{рк 2}),$$

$$m = \frac{\rho(V_{pk1} + V_{pk2}) \cdot y \cdot \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y\right) / 2}{2} . \quad (2.42)$$

Проведем преобразование предыдущих формул:

$$N_{\text{норм}} = \frac{\mu_{k-k} \cdot \rho g (V_{pk1} + V_{pk2}) \cdot y \cdot \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y\right) / 2}{2} , \quad (2.43)$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{\mu_{k-ст} \cdot \mu_{k-k} \cdot \rho g (V_{pk1} + V_{pk2}) \cdot y \cdot \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y\right) / 2}{2} , \quad (2.44)$$

$$M = \frac{\mu_{k-ст} \cdot \mu_{k-k} \cdot R_0 \rho g (V_{pk1} + V_{pk2}) \cdot y \cdot \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y\right) / 2}{2} , \quad (2.45)$$

$$N_2 = \frac{1}{2} \mu_{k-ст} \cdot \mu_{k-k} \cdot y \omega R_0 \rho g (V_{pk1} + V_{pk2}) \left(\frac{ky}{2} + k \cdot y\right) / 2 . \quad (2.46)$$

Для определения показателя N_3 , выразим его как мощность, необходимую для вращения вала мешалки. Поскольку мешалка представляет из себя шнек, навивка которого имеет пересыпные отверстия, рассмотрим мощность, необходимую для создания крутящего момента, необходимого для преодоления силы сопротивления корма при перемешивании. В таком случае, рассмотрим мешалку не как шнек, а как мешалку открытого турбинного типа, которая перемещаются в кормовой смеси:

$$\begin{aligned} N_3 &= M_3 \cdot \omega , \\ M_3 &= F_{\text{сопр}} \cdot R_0 \cdot N_v , \end{aligned} \quad (2.47)$$

где $F_{\text{сопр}}$ – сила, с которой навивка шнека воздействует на кормосмесь; N_v – количество витков навивки шнека в мешалке.

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{дв меш}} - F_{\text{тр меш}} , \quad (2.48)$$

где $F_{\text{тр меш}}$ – сила трения навивки о массу кормосмеси; $F_{\text{дв меш}}$ – сила, необходимая для перемещения навивки в кормосмеси.

Силу, затраченную на перемещение навивки определим, учитывая физико-механические свойства кормосмеси, а также геометрические размеры мешалки:

$$F_{\text{дв меш}} = m_{\text{см}} r \omega^2 + \mu_{k-ст} m_{\text{см}} g , \quad (2.49)$$

где $m_{\text{см}}$ – масса, кормосмеси, перемещаемая навивкой мешалки, кг; r – радиус мешалки смесителя, м.

Определим массу корма, захватываемую мешалкой:

$$m_{\text{см}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) \rho L_{\text{меш}} U_{\text{ср меш}} . \quad (2.50)$$

Силу трения частиц корма о поверхность лопасти мешалки можно определить по формуле:

$$F_{\text{тр меш}} = \mu_{\text{к-к}} \cdot F_{\text{дв меш}}. \quad (2.52)$$

Выполним преобразования предыдущих формул, чтобы определить $F_{\text{сопр}}$:

$$F_{\text{дв меш}} = (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) \rho L_{\text{меш}} U_{\text{ср меш}} r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) \rho L_{\text{меш}} U, \quad (2.53)$$

$$F_{\text{дв меш}} = \rho L_{\text{меш}} U_{\text{ср меш}} (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g),$$

$$F_{\text{тр меш}} = \mu_{\text{к-к}} \rho L_{\text{меш}} U_{\text{ср меш}} (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g), \quad (2.54)$$

$$F_{\text{сопр}} = \rho L_{\text{меш}} U_{\text{ср меш}} (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g)$$

$$- \mu_{\text{к-к}} \rho L_{\text{меш}} U (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g),$$

$$F_{\text{сопр}} = \rho L_{\text{меш}} \left(\left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2 \right) (1 - \mu_{\text{к-к}}) (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g). \quad (2.55)$$

Выполним подстановку формул, чтобы определить N_3 :

$$M_3 = \rho L_{\text{меш}} R_0 N_{\text{в}} \left(\left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2 \right) (1 - \mu_{\text{к-к}}) (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g). \quad (2.56)$$

$$N_3 = \rho \omega L_{\text{меш}} R_0 N_{\text{в}} \left(\left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2 \right) (1 - \mu_{\text{к-к}}) (S_{\text{шнек}} - S_{\text{вал}}) (r \omega^2 + \mu_{\text{к-ст}} g). \quad (2.57)$$

Поскольку коэффициент пересыпания k напрямую влияет на коэффициент заполнения камеры смесителя U , рекомендуемые значения для которого от 0,3-0,7, необходимо определить допустимые значения коэффициента пересыпания k .

В случае, если коэффициент k будет слишком велик, коэффициент заполнения камеры мешалки превысит $U=0,7$. Чем выше будет k – тем сильнее коэффициент U будет стремиться к единице, что отрицательно повлияет на однородность смешивания, хотя и положительно скажется на производительности.

С учетом всех выведенных уравнений, общая формула для определения мощности, потребляемой смесителем будет иметь вид:

$$N = 1800\mu_{к-к}S_{1\text{ раб}}\rho l g L \frac{\omega}{\pi} \left((1-k)^{y+1} \right) + \frac{1}{2}\mu_{к-ст} \cdot \mu_{к-к} \cdot y \omega R_0 \rho g (V_{рк 1} + V_{рк 2}) \left(\left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2 \right) + \rho \omega L_{меш} R_0 N_b \left(\left(\frac{ky}{2} + k \cdot y \right) / 2 \right) (1 - \mu_{к-к}) (S_{шнек} - S_{вал}) (r \omega^2 + \mu_{к-ст} g). \quad (2.58)$$

Помимо коэффициента пересыпания k на коэффициент заполнения U повлияет количество витков навивки мешалки, которые оснащены отверстиями.

Для определения влияние количества перфорированных витков навивки составим график, изображенный на рисунке 2.6.

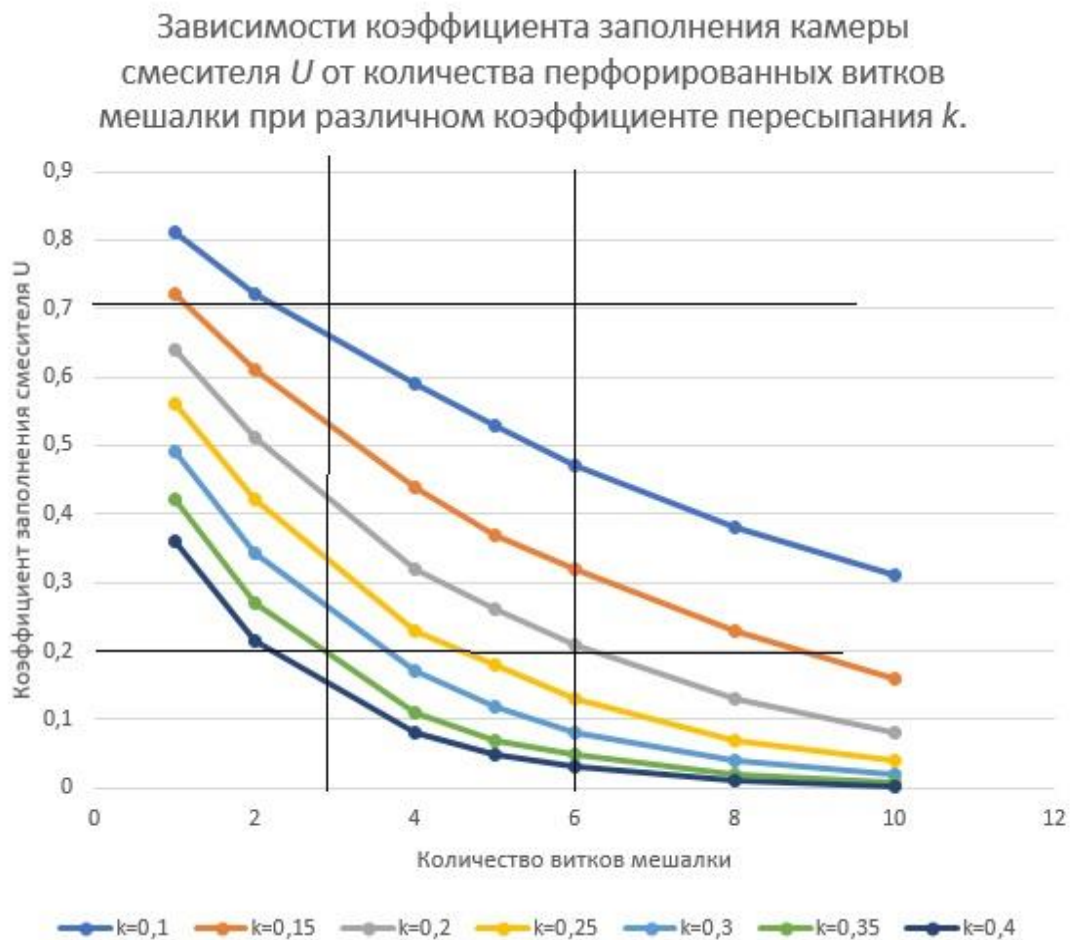


Рисунок 2.6. – График зависимости коэффициента заполнения камеры смесителя U от количества витков мешалки при различном коэффициенте пересыпания k .

Проведя анализ графика, изображенного на рисунке 2.6, можно определить, что при увеличении количества витков при постоянном шаге навивки, коэффициент заполнения смесителя будет снижаться. Первично это может привести к снижению мощности, потребляемой электродвигателем при работе, но, при этом, увеличение количества витков приведет к росту среднего коэффициента заполнения смесителя $U_{\text{ср}}$, что негативно скажется на однородности приготавливаемого корма. С учетом этих условий определим, что рациональное значение коэффициента пересыпания должен находиться в диапазоне $k=0,1 \dots 0,25$, а количество витков навивки, оснащенных пересыпными отверстиями – от 3 до 6.

Для определения влияния коэффициента пересыпания на мощность, потребляемую электродвигателем, составим график зависимости, при котором все конструкторские и режимные параметры будут постоянны, а изменяться будет лишь коэффициент пересыпания. Будем определять потребляемую мощность и энергоёмкость при установившемся режиме работы смесителя (рисунок 2.7 – 2.8).

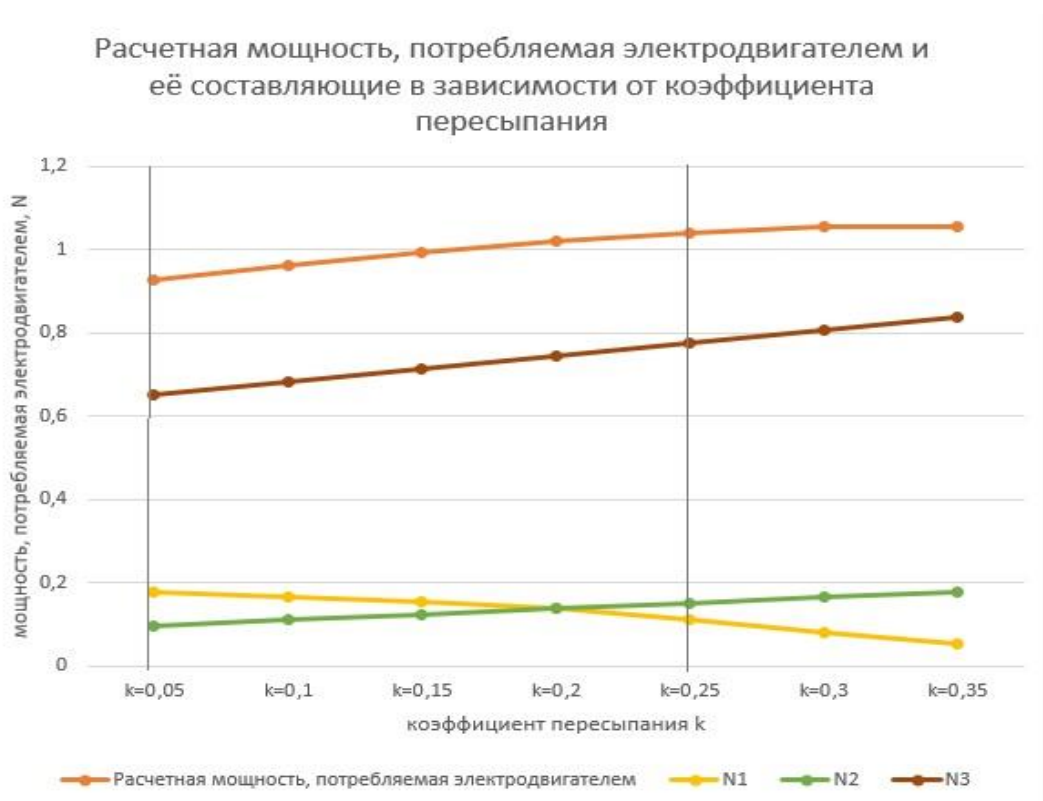


Рисунок 2.7. – График зависимости мощности, потребляемой двигателем в зависимости от коэффициента пересыпания.

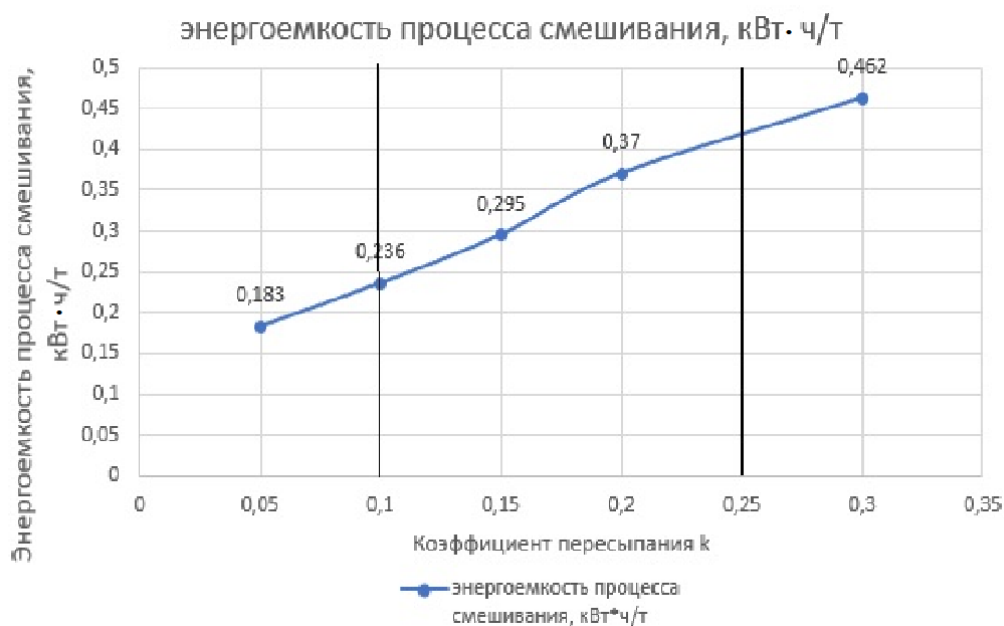


Рисунок 2.8. – График зависимости энергоемкости процесса смешивания в зависимости от коэффициента пересыпания

Проводя анализ графиков, изображенных на рисунках 2.4. – 2.8, решалась компромиссная задача по определению оптимальных конструктивных параметров мешалки и режимов работы смесителя, которые обеспечат высокую однородность приготавливаемого корма без существенного снижения производительности и наименее возможной мощности, потребляемой электродвигателем.

В качестве оптимальных конструктивных параметров принимаем: диаметр шнека и мешалки – 0,1 м; шаг витка навивки – 0,11 м, длина мешалки – 0,55 м; длина шнека – 0,55 м; коэффициент пересыпания $k=0,1 \dots 0,25$, количество циркуляционных отверстий для допустимого соответствия коэффициенту пересыпания принимаем на каждый виток от 2 до 6 включительно, диаметр циркуляционных отверстий 0,02 м.

В качестве оптимальных режимных параметров работы смесителя принимаем рекомендуемую продолжительность периода непрерывной работы смесителя T от 2,5 до 10 минут, а также на основании априорных исследований и анализа литературных источников примем частоту вращения вала смесителя от 100 до 140 об/мин.

При таких параметрах производительность составит 2838–3541 кг/час; мощность, потребляемая электродвигателем будет составлять от 0,882 до 0,98 кВт; энергоемкость процесса смешивания будет составлять от 0,236 до 0,42 кВт·ч/т.

2.4 Выводы по главе

В ходе теоретических исследований получены следующие результаты:

- разработана конструктивно-технологическая схема смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с циркуляционными отверстиями;
- теоретическим путем получены аналитические зависимости, характеризующие взаимосвязь технологических и конструктивно-режимных параметров с обоснованием однородности, производительности и энергоемкости процесса смешивания концентрированных кормов;
- определены оптимальные режимы работы смесителя кормов: частота вращения вала смесителя от 100 до 140 об/мин; рекомендуемая продолжительность периода непрерывной работы смесителя от 2,5 до 10 минут;
- определены оптимальные конструктивные параметры смесителя: диаметр шнека и мешалки – 0,1 м; шаг витка навивки – 0,11 м, длина мешалки – 0,55 м; длина шнека – 0,55 м;
- определен коэффициент пересыпания – 0,1...0,25, для соответствия коэффициенту пересыпания установлен диаметр циркуляционных отверстий 0,02 м, а их количество на каждый виток от 2 до 6 включительно, при этом производительность составит 2838–3541 кг/час; мощность, потребляемая электродвигателем будет составлять от 0,882 до 0,98 кВт; энергоемкость процесса смешивания будет составлять от 0,236 до 0,42 кВт·ч/т.

3. МЕТОДИКА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

3.1 Программа и организация экспериментальных исследований с описанием экспериментального комплекса по их проведению

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен образец смесителя концентрированных кормов с перфорированным рабочим органом, на рисунке 3.1. представлен общий вид смесителя концентрированных кормов. Смеситель выполнен по моноблочной схеме, однако его конструкция предусматривает легкую разборку, простую замену мешалки, а также добавление дополнительных секций смесителя, что может позволить работать с кормами, которые обладают другими физико-механическими свойствами. Мешалка в виде шнека с перфорированной навивкой, которая устанавливается в рабочую камеру смесителя, представлена на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1. –Общий вид экспериментальной установки



Рисунок 3.2. – Общий вид шнековой мешалки с пересыпными отверстиями

Для проведения эксперимента необходимо было достичь частоты вращения вала смесителя, равную 100, 120 и 140 об/мин, при условии того, что частота вращения вала электродвигателя составляла 1500 об/мин, необходимо было использовать редуктор. Передаточное число необходимо было варьировалось в пределах от 15 до 10,7, такое передаточное отношение обеспечивает лишь редуктор червячного типа, либо другой многоступенчатый редуктор. Был спроектирован и создан трехступенчатый ременной редуктор на компонентах для автомобилей LADA (ВАЗ). Изменение передаточного числа реализовалось за счет замены ведомого шкива, устанавливаемого на валу смесителя. На рисунке 3.3 показан трехступенчатый ременной редуктор, с установленным электродвигателем, который приводит в действие вал смесителя. Общий

вид бункера для загрузки компонентов концентрированного корма представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.3. –Общий вида привода смесителя

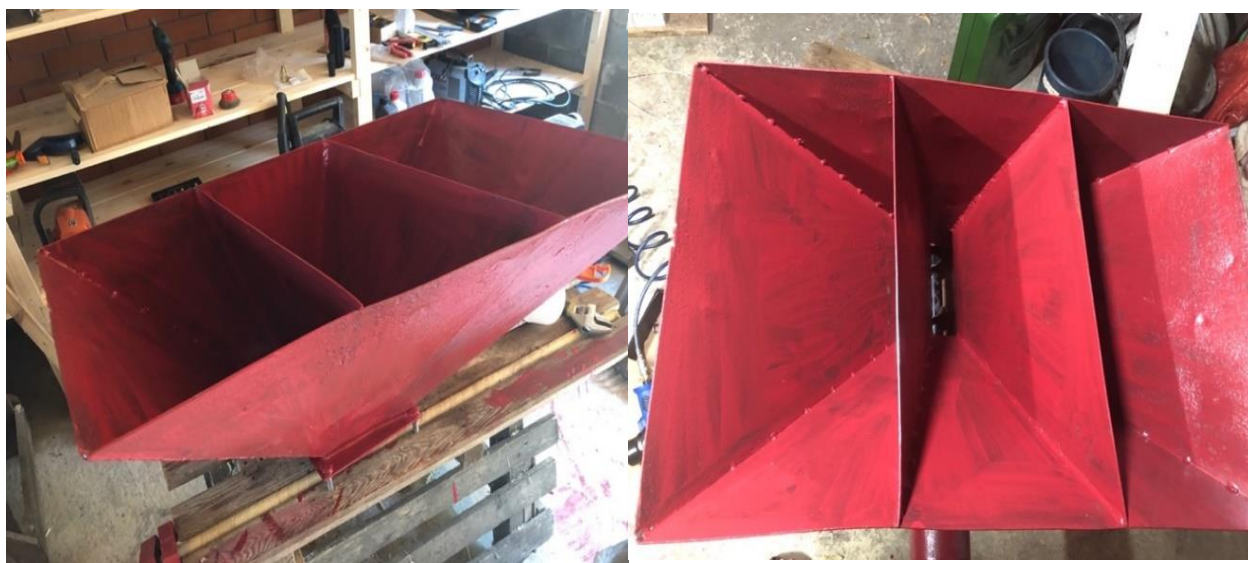


Рисунок 3.4. –Общий вида бункера

Поскольку компоненты концентрированного корма, имеют схожие физико-механические свойства, и, согласно рецептуре, смешиваются в равных пропорциях (в отличии от комбинированных кормов), требований к высокой точности дозировки нет, в связи с чем, в данном случае, не потребовалось шиберные заслонки на загрузочном окне для дозировки каждого компонента. Модульная конструкция смесителя позволяет устанавливать бункеры разного объема, с разным количеством секций, а также установить отдельную шиберную заслонку для использования при определенных режимах работы смесителя, например, если требуется работа смесителя с использованием мешалки, основной характеристикой которой является высокий коэффициент пересыпания.

3.2 Методика проведения эксперимента, получение результатов испытания опытного образца смесителя

На этапе экспериментальных исследований, в качестве объектов исследований, при определении физико-механических свойств использовались измельченные зерна кукурузы, измельченные зерна пшеницы и измельченные зерна овса.

Для определения однородности смешивания измельченный овес был заменен контрольным компонентом, которым является подкрашенная красным пищевым красителем пшенная крупа (рисунок 3.5.).

В основу исследований положены методики, изложенные в работах Алёшкина В.Р., Веденяпина Г.В., Доспехова Б.А., Завалишина Ф.С., Зенко-ва Р.Л., Краснова Д.А., Кукты Г.М., Кулаковского И.В., Мельникова С.В. и других ученых.

Анализ данных, представленных в литературных источниках, а также результаты комплексных теоретических и экспериментальных исследований

демонстрируют, что процесс смешивания кормов зависит от множества факторов, включая физико-химические свойства компонентов, кинематику движения частиц и механические параметры оборудования [38,50].



Рисунок 3.5. – Общий вид контрольного компонента (подкрашенная пищевым красителем пшенная крупа)

Для эффективной оптимизации и повышения производительности процесса смешивания необходимо разработать его математическую модель, которая будет учитывать все эти переменные. Это позволит систематически описывать и прогнозировать условия смешивания, а также корректировать технологические параметры для достижения наилучших производственных показателей.

Таблица 3.1. – Анализ факторов, влияющих на работу смесителя

№ опы та	Факторы										
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-
2	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+
3	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-
4	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-

Продолжение таблицы 3.1

5	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-
6	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+
7	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+
8	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+
9	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
10	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+
11	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-26,02	-89,24	-49,66	-20,82	-76,78	-48,92	-93,74	97,16	40,52	0,9	25,06
Ві	-4,33	-14,87	-8,27	-3,47	-12,79	-8,15	-15,62	16,21	6,75	0,15	4,17
Аі	-2,16	-7,43	4,13	1,73	6,39	4,07	7,81	8,09	3,37	0,07	2,09
Значи- мость	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-

Таблица 3.3. – Варьируемые факторы процесса смешивания ингредиентов концентрированных кормов и уровни их состояния

Факторы	Обозначение	Размерность	Уровень варьирования		
			-1	0	+1
Количество циркуляционных отверстий на витке, n	X ₂	шт	2	4	6
Период непрерывной работы смесителя	X ₇	мин	2,5	5	10
Частота вращения шнека, ω	X ₈	с ⁻¹	1	5	9

Рассмотренные факторы удовлетворяют критериям управляемости, операционности, однозначности и независимости. Факторы, неподдающиеся контролю, были учтены на этапе подготовки эксперимента. Из-за необходимости проведения большого числа испытаний для всестороннего анализа всех факторов было принято решение о реализации сокращенного эксперимента, целью которого являлось выявление факторов, оказывающих значительное влияние на значение критерия оптимизации. Результаты однофакторных экспериментов определили уровни и интервалы варьирования для последующего планирования эксперимента.

В рамках проведения экспериментальных исследований по процессу смешивания сухих и жидких компонентов в производстве концентрированных кормов был осуществлен трехфакторный эксперимент. При полном факторном эксперименте с тремя уровнями варьирования каждого фактора общее число опытов составило бы $N=27$, а с учетом пятикратного отбора проб их количество увеличилось бы до $N=135$. Выполнение такого объема исследований требует значительных временных и материальных ресурсов, а также является трудоемким процессом, что диктует необходимость сокращения числа опытов. Для этого применяется методология планирования эксперимента. Был выбран план для трех факторов, представленный в таблице 3.4, что позволило уменьшить число экспериментов до $N=19$, а с учетом пятикратного отбора проб их количество увеличилось до $N=95$.

Привод вала шнекового смесителя концентрированных кормов осуществлялся от двигателя АИР80В4 (1,5 кВт, 1500 об/мин).

Для снятия энергетических характеристик использовались приборы: цифровой мультиметр DT-832, цифровые токоизмерительные клещи M266, Весы цифровые MG-100, бесконтактный оптический тахометр DT2234C+. Проведение экспериментальных исследований по смешиванию компонентов концентрированного корма осуществлялось, без изменений частоты вращения электрического двигателя. Изменение частоты вращения вала смесителя реализовывалось в пределах от 100 до 140 об/мин посредством смены ведомого шкива, устанавливаемого на вал шнека смесителя.

На рисунках 3.6–3.11 представлен процесс проведения эксперимента, отбора проб, снятия характеристик.



Рисунок 3.6. – Фото процесса снятия значений потребляемого тока электродвигателем и напряжения сети



Рисунок 3.7. – Фото процесса замера частоты вращения вала смесителя



Рисунок 3.8. – Фото процесса выбора контрольного компонента из общей массы каждой пробы



Рисунок 3.9. – Фото отделенного от общей массы контрольного компонента



Рисунок 3.10. – Фото отобранной пробы массой 100 гр



Рисунок 3.11. – Фото взвешивания контрольного компонента, отобранного из пробы

Для определения массы контрольного компонента в каждой пробе (вес которой составлял 100 гр.), сначала применялся ситовый анализ, т.е. использовался набор сепарирующих решет с различным диаметром отверстий, что позволяло отсеять крупную и мелкую фракцию, отличную от контрольного компонента (подкрашенная пищевым красителем пшённая крупа), после чего вручную производился отбор частиц контрольного компонента. Отобранные частицы далее взвешивались на цифровых весах MG-100. Для вычисления однородности концентрированного корма определяли равномерность распределения контрольного компонента в 5 пробах от каждого эксперимента по следующим выражениям:

$$m_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \quad (3.1)$$

где, $m_{\text{ср}}$ – средняя масса контрольного компонента в 100 гр каждой из пяти проб одного эксперимента, гр; $\sum m_i$ – сумма масс всех контрольных компонентов из 5 проб в каждом эксперименте, гр; i – количество проб, взятых с одного эксперимента.

Таким образом, мы определяем среднюю массу контрольного компонента в 5 пробах внутри одного эксперимента:

$$G'_i = \frac{m_i}{m_{\text{ср}}}. \quad (3.2)$$

Если $G'_i > 1$, то

$$G_i = 2 - g'_i. \quad (3.3)$$

Если $G'_i < 1$, то

$$G_i = g'_i, \quad (3.4)$$

где m_i – масса контрольного компонента в i -ой пробе; g'_i – соотношение массы контрольного компонента в i -ой пробе к средней по расчету $m_{\text{ср}}$; g_i – однородность отдельно взятой пробы в одном эксперименте.

Средняя однородность внутри эксперимента определялась как:

$$G = \frac{\sum g_i}{i}, \quad (3.5)$$

где G – средняя по пяти пробам однородность корма по контрольному компоненту в конкретном эксперименте.

Для выделения существенных факторов проводился отсеивающий эксперимент по плану Плакетта-Бермана, представляющий собой насыщенный план с матрицей специальной конструкции.

Таблица 3.4 – Матрица Плакетта-Бермана

№ опыта	Матрица планирования			Отклик		
	$X_1(n)$	$X_2(\omega)$	$X_3(T)$	Q	N	G
1	-1	-1	-1	851	204	0,9112
2	+1	-1	-1	686	246	0,901
3	-1	+1	-1	1274	215	0,7495
4	+1	+1	-1	1030	431	0,7826
5	-1	-1	+1	3405	816	0,9112
6	+1	-1	+1	2756	987	0,9064
7	-1	-1	0	1702	408	0,9112
8	-1	0	0	2100	423	0,9264
9	-1	0	-1	1050	211	0,9264
10	+1	0	0	1701	508	0,8813
11	-1	+1	0	2548	431	0,7495
12	0	-1	0	1537	371	0,9142
13	0	+1	0	2301	469	0,7618
14	0	-1	-1	762	222	0,9142
15	+1	+1	0	2060	521	0,7546
16	0	0	-1	951	229	0,929
17	0	0	0	1918	458	0,929
18	+1	0	+1	3401	922	0,901
19	0	-1	+1	3092	864	0,9142

3.3 Обработка результатов экспериментальных исследований.

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии для однородности смешивания:

$$G=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{33}x_3^2 ,$$

$$G=95,021+6,381x_1+2,296x_2-0,998x_3-0,472x_1x_2-2,203x_1x_3+ \\ +0,383x_2x_3-7,068x_1^2-3,248x_2^2+3,6x_3^2 . \quad (3.6)$$

По завершении расчетов была определена дисперсия эксперимента, которая учитывает количество степеней свободы, обозначенное как X .

После этого расчета, гипотеза о статистической значимости коэффициентов регрессионной модели была подвергнута проверке.

Для проверки данной гипотезы первым этапом является вычисление дисперсии оценок регрессионных коэффициентов.

Доверительный интервал, рассчитывается по формуле:

$$\Delta b_i = t_{a;f_1} S b_i , \quad (3.7)$$

где t - критерий Стьюдента, берется из таблиц в зависимости от уровня; значимости a и числа степеней свободы f_1 при определении; дисперсии опыта S_y^2 ; $S b_i$ - среднеквадратичная ошибка в определении коэффициента регрессии.

Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему, т. е.:

$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (3.8)$$

Статистическая незначимость коэффициента интерпретируется как свидетельство отсутствия значимого воздействия соответствующего эффекта на выходную переменную. В контексте линейной модели, если линейный эффект оказывается статистически незначимым, это указывает на то, что в пределах изученных интервалов изменения данный фактор не оказывает существенного влияния на отклик.

В нашем случае:

$$b_0=92.021 \quad b_1=6.381 \quad b_2=2.296 \quad b_3=-0.998$$

$$b_{12}=-0.472 \quad b_{13}=-2.203 \quad b_{23}=0.383$$

$$b_{11}=-7.068 \quad b_{22}=-3.248 \quad b_{33}=3.6$$

После проверки коэффициентов на значимость уравнение 4 приняло вид:

$$G = 92.021 + 6.381 \cdot x_1 + 2.296 \cdot x_2 - 0.998 \cdot x_3 + 0.472 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2.203x_1x_3 + 0.383x_2x_3 - 7.068 \cdot x_1^2 - 3.248 \cdot x_2^2 + 3.6 \cdot x_3^2, \quad (3.9)$$

где Y - производительность распылителя, мл/мин.

На следующем этапе обработки данных осуществляется проверка гипотезы об адекватности математической модели. Это позволяет определить, насколько полученное уравнение соответствует экспериментальным данным и достаточна ли его сложность для описания исследуемого процесса.

Гипотеза об адекватности обычно проверяется посредством применения F-критерия (критерия Фишера), который позволяет сравнивать дисперсию, объяснённую моделью, с дисперсией, обусловленной остатками, и тем самым оценивать соответствие модели наблюдаемым данным. Его расчетное значение определяют по формуле:

$$F_{f_1:f_2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}. \quad (3.10)$$

Гипотеза об адекватности математической модели подтверждается в случае, если вычисленное значение F-критерия (критерия Фишера) не превышает его табличное значение для заданного уровня значимости. Этот подход позволяет определить, соответствует ли модель реальным данным, и обеспечивает статистическое обоснование использования модели для прогнозирования и интерпретации исследуемых процессов. Уровень значимости, обычно обозначаемый как α , определяет вероятность допущения ошибки первого рода, то есть вероятности ошибочного отклонения верной гипотезы об адекватности. Анализ через F-критерий является стандартным методом проверки гипотез в регрессионном анализе, позволяя оценить, насколько модель объясняет вариацию наблюдаемых данных в сравнении с ошибочной вариацией, т. е. когда:

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}} . \quad (3.11)$$

В нашем случае $2.607 \leq 4.78$ – модель адекватна.

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -17,232 + 53,122x_1 - 6,372x_2 \\ \frac{dy}{dx_2} = -55,47 + 6,372x_1 - 42,006x_2 \\ \frac{dy}{dx_3} = 7,801 + 75,722x_3 \end{cases} , \quad (3.12)$$

Решая систему линейных уравнений находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 4 \quad x_2 = 120 \quad x_3 = 1,75$$

Для перевода в действительные значения переменных используем интервал варьирования и значение в центре плана каждого переменного:

$$X_1 = x_1 \cdot 2 + 4; \quad X_1 = 4,8043 \text{ п} \quad X_2 = 20x_2 + 120 \quad X_2 = 126 \text{ ω} \quad X_3 = 1.25x_3 + 1.75 \quad X_3 = 2.0545 \text{ т}$$

Подставив в исходное уравнение значения x_1, x_2, x_3 находили значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика.

При этом получили $Y_s = 93.57\%$.

Где Y_s - значение отклика в новом начале координат (свободный член канонического уравнения).

Определили угол поворота осей координат поверхности отклика (старых осей) до совмещения с главными осями фигуры при каноническом преобразовании:

Угол α равен 1.6006° .

Уравнение регрессии в канонической форме будет иметь вид:

$$G - 207,4 = -26,561 \cdot X_1^2 - 21,003 \cdot X_2^2 + 37,86 \cdot X_3^2. \quad (3.13)$$

или:

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y-207,4}{-26,561}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y-207,4}{-21,003}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y-207,4}{37,86}} = 1. \quad (3.14)$$

Взаимосвязи в сложных системах отображаются с помощью математических моделей, таких как поверхности отклика. В данном случае, если поверхность отклика моделируется как гиперболическое сечение, то центральная точка этой поверхности, так называемый седловой узел, характеризуется условием минимакс. Такое явление наблюдается, когда коэффициенты при переменных в уравнении регрессии, записанном в каноническом виде, имеют разные знаки, указывая на наличие точек перегиба. Эти точки перегиба обусловлены комбинированным эффектом факторов, из которых одни влияют положительно, а другие — отрицательно на функцию отклика.

Для более детального понимания формы поверхности отклика вблизи оптимальных условий, прибегают к анализу двумерных сечений. Это позволяет изолировать и изучить влияние двух конкретных переменных, в то время как остальные переменные фиксируются на уровнях, соответствующих оптимизации. Это позволяет визуализировать влияние пар факторов, облегчая интерпретацию прямых и косвенных взаимодействий между переменными и их вклад в изменчивость целевой функции. Анализ двумерных сечений является ключевым инструментом в многофакторном моделировании, ибо он раскрывает структуру реакции системы на параметры управления и помогает в выявлении условий, которые максимизируют эффективность системы или минимизируют потери.

Рассмотрим сечение на плоскости X_1X_2 .

Для этого в исходное уравнение подставим $x_3 = 2.0545$. Получили:

$$G = 105.166 + 6.381 \cdot x_1 + 2.296 \cdot x_2 - 0.472 \cdot x_1 \cdot x_2 - 4.2575x_1 + 0.786x_2 - 7.068 \cdot x_1^2 - 3.248 \cdot x_2^2, \quad (3.15)$$

где Y_{12} - производительность распылителя при взаимодействии 1 и 2 фактора, 3-й фактор в центре плана (оптимальный).

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 0.4021, \quad x_2 = 0.3386.$$

Подставляя найденные значения x_1, x_2 в уравнение определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_3 = -0,103$:

$$G_{S_{12}} = 93,5711.$$

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$G_{12} - 93,5711 = 6,381 \cdot X_1^2 + 2,296 \cdot X_2^2. \quad (3.16)$$

Угол поворота осей α равен 3,5219 градусов, а коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме равны:

$$B_{11} = -7,0825; B_{22} = -3,2335.$$

Поверхность отклика представляет собой эллипсоид (рисунок 3.12), а ее центр - экстремум, причем максимум, так как коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме отрицательны.

Рассмотрим сечение поверхности отклика X_1X_3 . Для этого в исходное уравнение подставим $x_2 = 0,3386$. Уравнение принимает вид:

$$G = 91,988 + 6.381 \cdot x_1 - 0.998 \cdot x_3 - 0.159 \cdot x_1 - 2.203x_1x_3 + 0.129x_2 - 7.068 \cdot x_1^2 + 3.6 \cdot x_3^2 - 0.159 \cdot x_1 - 2.203x_1x_3 + 0.129x_2 - 7.068 \cdot x_1^2 + 3.6 \cdot x_3^2. \quad (3.17)$$

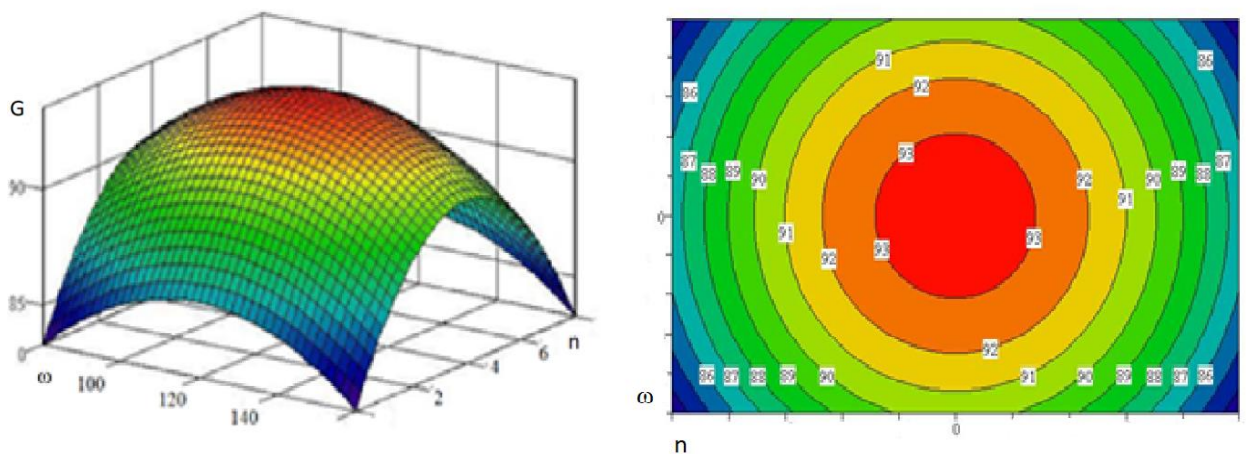


Рисунок 3.12. – Поверхность зависимости однородности от количества отверстий в мешалке и частоты её вращения и его двумерное сечение

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 0,4021, \quad x_3 = 0,2436.$$

Подставляя найденное значение x_1 и x_3 в уравнение, определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_2 = 0,3386$:

$$g_{13} = 93,5711.$$

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$G_{13} - 92,021 = 6,381 \cdot X_1^2 + 2,296 \cdot X_3^2. \quad (3.18)$$

Угол поворота осей $\alpha = 5,8339$ градусов, так как уравнение не имеет парных взаимодействий, а коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме равны:

$$B_{11} = -7,1805, \quad B_{33} = 3,7125.$$

В контексте статистического анализа и многомерной оптимизации, поверхность отклика может характеризоваться как гиперболоидная структура. В этом случае центральная точка такой поверхности называется точкой минимакса. Это обусловлено тем, что в канонической форме уравнения регрессии знаки коэффициентов различаются. Визуальное представление этой модели можно наблюдать на рисунке 3.13.

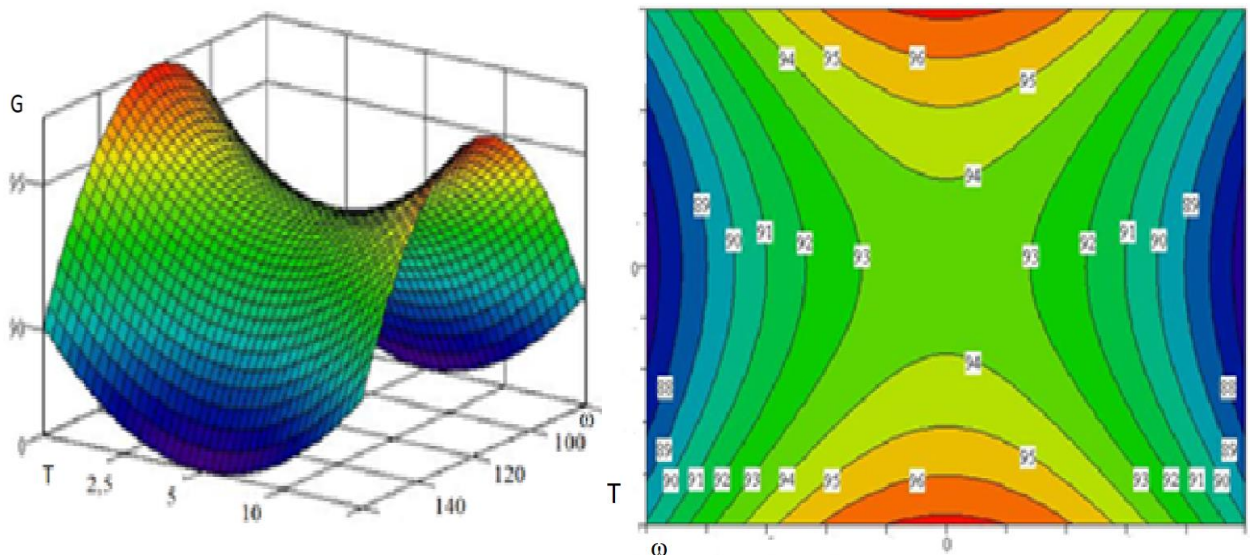


Рисунок 3.13- Поверхность зависимости однородности от количества отверстий в мешалке и времени смешивания и его двумерное сечение

При этом гиперболические контуры вытянуты вдоль той оси, где коэффициент у уравнения имеет меньшую абсолютную величину. Это означает, что векторная компонента с наименьшей величиной более существенно влияет на форму и ориентацию поверхности, чем более значительная компонента. С точки зрения линейной алгебры и анализа, такая характеристика важна для понимания направления наиболее быстрого изменения отклика в многомерном пространстве входных переменных.

Рассмотрим сечение поверхности отклика X_2X_3 . Для этого в исходное уравнение подставим $x_1 = 0,4021$, тогда уравнение примет вид:

$$G = 93,444 + 2.296 \cdot x_2 - 0.998 \cdot x_3 + \\ -0.189 \cdot x_2 - 0,885x_3 + 0.383x_2x_3 - 3.248 \cdot x_2^2 + 3.6 \cdot x_3^2. \quad (3.19)$$

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_2 = 0,3386, \quad x_3 = 0,2436.$$

Подставляя найденные значения в уравнение, определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_1 = 0,492$:

$$G_{S_{23}} = 93,5711.$$

Выполнив канонические преобразования. В виду того, что в уравнении не имеет парное взаимодействие (x_2x_3) , угол поворота осей $\alpha = 5,8339$ градусов.

Тогда коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме будут следующие:

$$B_{22} = -3,2534, \quad B_{33} = 3,6054$$

Уравнение регрессии в канонической форме примет вид:

$$G_{23} - 92,021 = -3,2534 \cdot X_2^2 + 3,6054 \cdot X_3^2. \quad (3.20)$$

В рамках анализа многомерных данных, в частности при рассмотрении математических моделей отклика, можно столкнуться с ситуацией, когда поверхность отклика принимает форму гиперboloида. Центр этой поверхности

определяется как точка минимакса из-за того, что в канонической форме уравнения регрессии имеются коэффициенты с противоположными знаками. Такая конфигурация указывает на то, что гиперболы, описывающие отклик, растянуты вдоль той координатной оси, для которой характерно меньшее значение коэффициента по абсолютной величине.

Для дальнейшего анализа, подставляя различные величины отклика Y в канонические уравнения, представленные, в виде формулы, можно получить множество сопряженных изолиний. Это делается при условии фиксированной переменной, такой как $x_3=1.75$, что в контексте даёт значение времени смешивания, расположенное центрально в планировании эксперимента.

Визуальное распределение переменных, определяющих однородность в области экспериментального исследования, приобретает форму, приближенную к эллипсу. Максимальная степень однородности системы наблюдается при определённых условиях: частота вращения шнека смесителя составляет 120 оборотов в минуту, а количество отверстий равно четырём. Эти параметры обеспечивают оптимальное распределение смешиваемых компонентов.

Двумерное сечение на плоскость X_1SX_3 (рисунок 3.14), когда $x_2 = 120$ т.е. значение частоты вращения находится в центре плана.

В данном контексте распределение индикаторов однородности смеси на экспериментальном поле может быть описано в терминах геометрической поверхности, известной как «Сходящиеся гребни». Анализ демонстрирует, что изменение переменной x_1 , соответствующей частоте вращения, в значительной степени влияет на показатель однородности смеси. Эффект этого изменения описывается параболическим законом: с увеличением частоты вращения выше центральной точки плана наблюдается снижение однородности, тогда как увеличение времени смешивания, обозначенного x_3 , приводит к повышению степени однородности смеси. Углубленный анализ двумерного сечения на плоскости X_1SX_3 и сопоставление с табличными данными позволяют за-

ключить, что оптимальное количество отверстий, характеризуемое переменной x_3 , должно равняться 4.8 для достижения желаемой однородности в процессе.

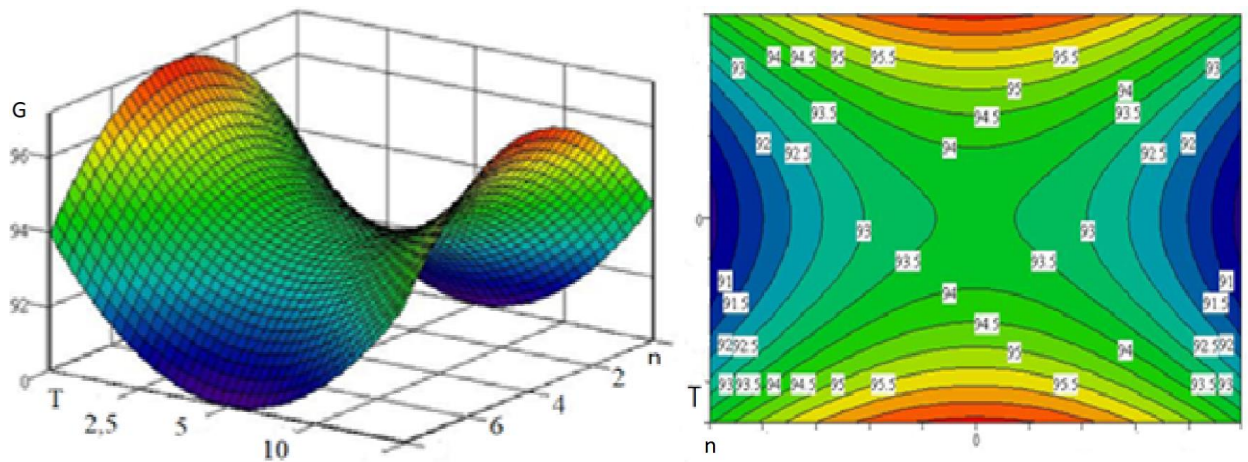


Рисунок 3.14 - Поверхность зависимости производительности от частоты вращения и времени смешивания и его двумерное сечение

Для более глубокого понимания поведения системы в многомерном пространстве параметров, мы можем изучить двумерное сечение в плоскости X_2SX_3 , при условии, что параметр x_1 , обозначающий количество отверстий в шнеке, равен 4. В экспериментальном пространстве наблюдается, что поведение характеристик производительности напоминает конфигурацию поверхности типа «Сходящихся гребней». Анализируя данные, можно заметить, что изменения параметра x_2 , который может соответствовать частоте вращения, вызывают изменение однородности по квадратичному закону: увеличение частоты вращения вокруг центральной точки плана, что приводит к снижению однородности. Напротив, увеличение значения параметра времени смешивания x_3 способствует росту однородности, что также описывается параболической зависимостью.

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии для потребляемой мощности:

$$N = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2,$$

$$N = 4204,84 - 214,95X_1 - 67,61X_2 + 1001,2X_3 + 0,075X_1X_2 - 18,2X_1X_3 - 0,68X_2X_3 + 25,125X_1^2 + 0,281X_2^2 - 188,16X_3^2. \quad (3.21)$$

По завершении расчетов была определена дисперсия эксперимента, которая учитывает количество степеней свободы, обозначенное как X .

После этого расчета, гипотеза о статистической значимости коэффициентов регрессионной модели была подвергнута проверке.

Для проверки данной гипотезы первым этапом является вычисление дисперсии оценок регрессионных коэффициентов.

Доверительный интервал, рассчитывается по формуле:

$$\Delta b_i = t_{a;f_1} S b_i, \quad (3.22)$$

где t – критерий Стьюдента, берется из таблиц в зависимости от уровня значимости a и числа степеней свободы f_1 при определении дисперсии опыта S_y^2 ; $S b_i$ – среднеквадратичная ошибка в определении коэффициента регрессии.

Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему, т. е.:

$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (3.23)$$

Статистическая незначимость коэффициента интерпретируется как свидетельство отсутствия значимого воздействия соответствующего эффекта на выходную переменную. В контексте линейной модели, если линейный эффект оказывается статистически незначимым, это указывает на то, что в пределах изученных интервалов изменения данный фактор не оказывает существенного влияния на отклик.

В нашем случае:

$$B_0 = 621.95 \quad b_1 = -73.58 \quad b_2 = -21.19 \quad b_3 = 235.3$$

$$B_{12} = 3 \quad b_{13} = -45.5 \quad b_{23} = -17.0$$

$$B_{11} = 100.5 \quad b_{22} = 112.4 \quad b_{33} = -294$$

После проверки коэффициентов на значимость уравнение приняло вид:

$$Q = 4204,84 - 214,95 \cdot x_1 - 67,61 \cdot x_2 + 1001,2 \cdot x_3 + 0,075 \cdot x_1 \cdot x_2 - 18,2x_1x_3 - 0,68x_2x_3 + 25,125 \cdot x_1^2 + 0,281 \cdot x_2^2 - 188,16 \cdot x_3^2, \quad (3.24)$$

где Y – производительность распылителя, мл/мин.

На следующем этапе обработки данных осуществляется проверка гипотезы об адекватности математической модели. Это позволяет определить,

насколько полученное уравнение соответствует экспериментальным данным и достаточна ли его сложность для описания исследуемого процесса.

Гипотеза об адекватности проверяется посредством применения F-критерия (критерия Фишера), который позволяет сравнивать дисперсию, объяснённую моделью, с дисперсией, обусловленной остатками, и тем самым оценивать соответствие модели наблюдаемым данным. Его расчетное значение определяют по формуле:

$$F_{f_1;f_2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}. \quad (3.25)$$

Гипотеза об адекватности математической модели подтверждается в случае, если вычисленное значение F-критерия (критерия Фишера) не превышает его табличное значение для заданного уровня значимости. Этот подход позволяет определить, соответствует ли модель реальным данным, и обеспечивает статистическое обоснование использования модели для прогнозирования и интерпретации исследуемых процессов. Уровень значимости, обычно обозначаемый как α , определяет вероятность допущения ошибки первого рода, то есть вероятности ошибочного отклонения верной гипотезы об адекватности. Анализ через F-критерий является стандартным методом проверки гипотез в регрессионном анализе, позволяя оценить, насколько модель объясняет вариацию наблюдаемых данных в сравнении с ошибочной вариацией:

$$F^{\text{расч}} \leq F^{\text{табл}}. \quad (3.26)$$

В нашем случае $3.9829 \leq 4.78$ – модель адекватна.

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -17,232 + 53,122x_1 - 6,372x_2 \\ \frac{dy}{dx_2} = -55,47 + 6,372x_1 - 42,006x_2 \\ \frac{dy}{dx_3} = 7,801 + 75,722x_3 \end{cases} \quad (3.27)$$

Решая систему линейных уравнений находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 4 \quad x_2 = 120 \quad x_3 = 1,75$$

Для перевода в действительные значения переменных используем интервал варьирования и значение в центре плана каждого переменного:

$$X_1 = x_1 \cdot 2 + 4; \quad X_1 = 4,8927n \quad X_2 = 20x_2 + 120 \quad X_2 = 122,314 \omega$$

$$X_3 = 1.25x_3 + 1.75 \quad X_3 = 2.2029 t$$

Подставив в исходное уравнение значения x_1, x_2, x_3 находили значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика.

При этом получили:

$$N_s = 646.9257$$

где N_s - значение отклика в новом начале координат (свободный член канонического уравнения).

Определили угол поворота осей координат поверхности отклика (старых осей) до совмещения с главными осями фигуры при каноническом преобразовании:

Угол α равен 1.1977° .

Уравнение регрессии в канонической форме будет иметь вид:

$$G - 207,4 = -26,561 \cdot X_1^2 - 21,003 \cdot X_2^2 + 37,86 \cdot X_3^2. \quad (3.28)$$

или:

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y-646,92}{100,5}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y-646,92}{111,86}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y-646,92}{-293,46}} = 1. \quad (3.29)$$

Взаимосвязи в сложных системах отображаются с помощью математических моделей, таких как поверхности отклика. В данном случае, если поверхность отклика моделируется как гиперболическое сечение, то центральная точка этой поверхности, так называемый седловой узел, характеризуется условием минимакс. Такое явление наблюдается, когда коэффициенты при переменных в уравнении регрессии, записанном в каноническом виде, имеют разные знаки, указывая на наличие точек перегиба. Эти точки перегиба обусловлены комбинированным эффектом факторов, из которых одни влияют положительно, а другие — отрицательно на функцию отклика.

Для более детального понимания формы поверхности отклика вблизи оптимальных условий, проводится анализ двумерных сечений. Это позволяет

изолировать и изучить влияние двух конкретных переменных, в то время как остальные переменные фиксируются на уровнях, соответствующих оптимизации. Такой подход позволяет визуализировать влияние пар факторов, облегчая интерпретацию прямых и не прямых взаимодействий между переменными и их вклад в изменчивость целевой функции.

Рассмотрим сечение на плоскость X_1X_2 . Для этого в исходное уравнение подставим $x_3 = 2.0545$.

Получили:

$$N = 4204,84 - 214,95 \cdot x_1 - 67,61 \cdot x_2 + 1001,2 \cdot x_3 + 0,075 \cdot x_1 \cdot x_2 - 37,3919x_1 - 1,397x_2 + 25,125 \cdot x_1^2 + 0,281 \cdot x_2^2 - 794,217, \quad (3.30)$$

где Y_{12} - производительность распылителя при взаимодействии 1 и 2 фактора, 3-й фактор в центре плана (оптимальный).

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 0.4464, \quad x_2 = 0.1157$$

Подставляя найденные значения x_1, x_2 в уравнение определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_3 = -0,3623$.

$$Q_{S_{12}} = 646,92$$

Уравнение регрессии в канонической форме.

$$N_{12} - 646,92 = 100,5 \cdot X_1^2 + 111,867 \cdot X_2^2. \quad (3.31)$$

Угол поворота осей α равен 3,5219 градусов, а коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме равны: $B_{11} = 100,3138$; $B_{22} = -112,5862$.

Поверхность отклика, (рисунок 3.15), описываемая уравнением регрессии, приобретает форму эллипсоида в пространстве факторов. Это геометрическое отображение позволяет исследовать зависимость выходного параметра от нескольких входных переменных. Центральная точка эллипсоида, в данном случае является точкой экстремума. Специфика данного экстремума заключа-

ется в том, что он представляет собой максимум функции отклика. Это объясняется наличием отрицательных коэффициентов в канонической форме уравнения регрессии. Отрицательность коэффициентов означает, что в направлении каждой из главных осей эллипсоида происходит уменьшение функции, что в совокупности с природой поверхности указывает на наличие максимума в центре. Такая информация может быть крайне полезна для оптимизации процесса, так как она указывает на условия, при которых достигается наивысшее значение отклика.

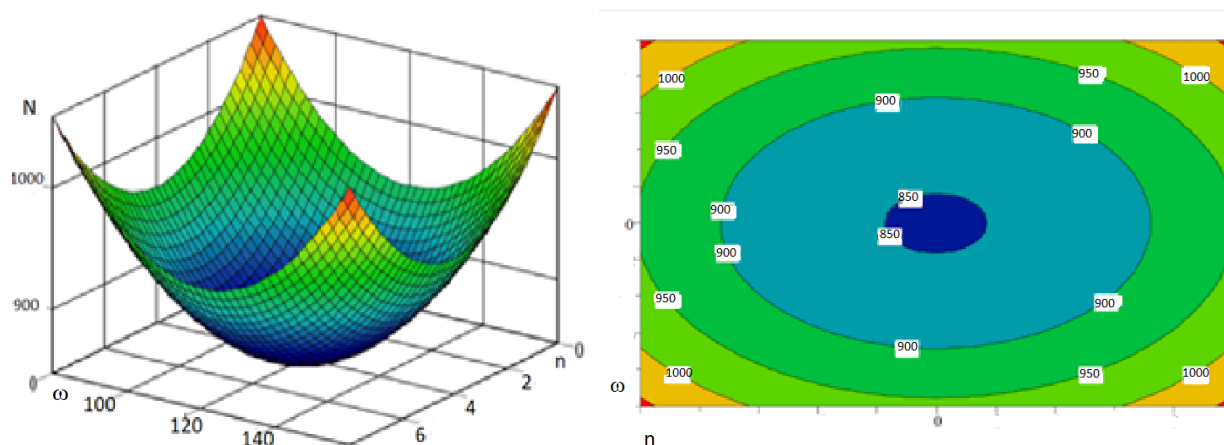


Рисунок 3.15 – Поверхность зависимости однородности от количества отверстий в мешалке и частоты её вращения и его двумерное сечение

Далее рассмотрим сечение поверхности отклика X_1X_3 . Для этого в исходное уравнение подставим $x_2 = 0,1157$. Уравнение принимает вид:

$$N = 4204,84 - 214,95 \cdot x_1 - 7,822 + 1001,2 \cdot x_3 + +0.0086 \cdot x_1 - 18,2x_1x_3 - 0,5877x_3 + 25,125 \cdot x_1^2 + 0,0037 - 188,16 \cdot x_3^2. \quad (3.32)$$

В рамках анализа уравнения, проведение операции дифференцирования по каждому из параметров позволяет исследовать точки экстремума функции. Установив первую производную по каждой переменной равной нулю, мы получаем систему линейных уравнений. Подобная процедура основана на необходимом условии экстремума, которое гласит, что в точках максимума или минимума градиент функции должен быть равен нулю. Решение этой системы уравнений раскрывает критические точки функции, и дальнейший анализ, та-

кой как изучение второй производной (или гессиана) функции, помогает определить природу этих точек как максимум, минимум или точку седла. Методика, описанная выше, используется в задачах оптимизации и в анализе устойчивости систем.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика

$$x_1 = 0,4464, \quad x_3 = 0,3623.$$

Подставляя найденное значение x_1 и x_3 в уравнение, определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_2 = 0,1157$:

$$N_{13} = 646,92.$$

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$N_{13} - 646,92 = 100,5 \cdot X_1^2 - 293,46 \cdot X_3^2. \quad (3.33)$$

Угол поворота осей $\alpha = -3,2896$ градусов, так как уравнение не имеет парных взаимодействий, а коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме равны:

$$B_{11} = 101,8076, \quad B_{33} = -295,3076.$$

В контексте многомерного регрессионного анализа поверхность отклика принимает форму гиперboloида. Центральная точка этой поверхности является точкой минимакса, что характерно для случаев, когда коэффициенты уравнения регрессии в его канонической форме обладают разными знаками. Это визуально демонстрируется на рисунке 3.16.

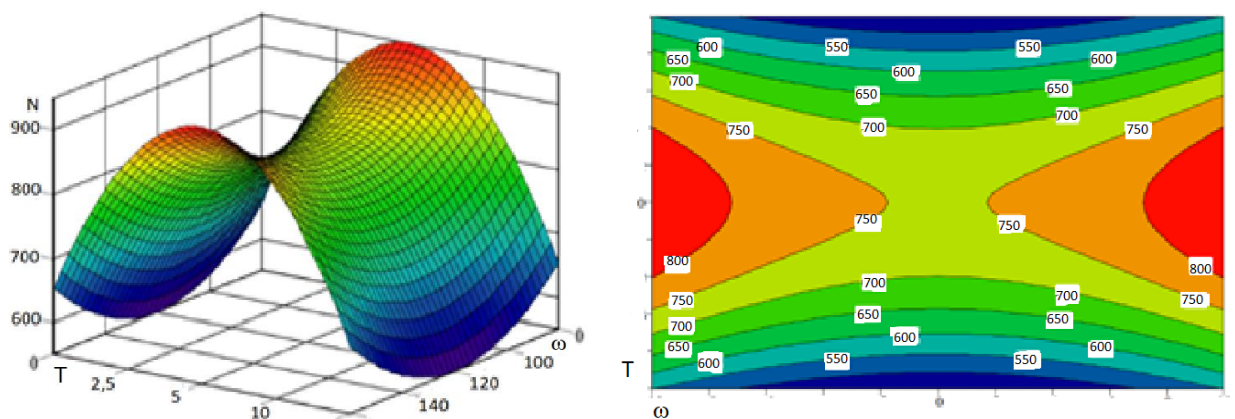


Рисунок 3.16- Поверхность зависимости однородности от количества отверстий в мешалке и времени смешивания и его двумерное сечение

В такой конфигурации направление оси, вдоль которой гипербола имеют больший размах, определяется осью, связанной с коэффициентом, имеющим наименьшую абсолютную величину в каноническом уравнении. Этот аспект подчеркивает зависимость геометрии поверхности от весовых характеристик каждого переменного фактора, влияющего на отклик системы.

Рассмотрим сечение поверхности отклика X_2X_3 . Для этого в исходное уравнение подставим $x_1 = 0,4464$, тогда уравнение примет вид:

$$N = 4204,84 - 9,595 - 67,61 \cdot x_2 + 1001,2 \cdot x_3 + +0,0334 \cdot x_2 - 0,8124x_3 - 0,68x_2x_3 + 5,006 + 0,281 \cdot x_2^2 - 188,16 \cdot x_3^2. \quad (3.34)$$

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные к нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_2 = 0,1157, \quad x_3 = 0,3623.$$

Подставляя найденные значения в уравнение, определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_1 = 0,492$:

$$Q_{S_{23}} = 646,92.$$

Выполнив канонические преобразования. В виду того, что в уравнении не имеет парное взаимодействие (x_2x_3) , угол поворота осей $\alpha = -3,2896$ градусов.

Тогда коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме будут следующие:

$$B_{22} = 112,5777, \quad B_{33} = -294,1777.$$

Уравнение регрессии в канонической форме примет вид:

$$N_{23} - 646,92 = 111,8672 \cdot X_2^2 - 293,4672 \cdot X_3^2. \quad (3.35)$$

В контексте многомерного регрессионного анализа поверхность отклика может принимать форму гиперболоида. Центральная точка этой поверхности является точкой минимакса, что характерно для случаев, когда коэффициенты уравнения регрессии в его канонической форме обладают разными знаками. Это показано на рисунке 3.17. В такой конфигурации направление оси, вдоль

которой гиперболы имеют большой размах, определяется осью, связанной с коэффициентом, имеющим наименьшую абсолютную величину в каноническом уравнении. Это подчеркивает зависимость геометрии поверхности от весовых характеристик каждого переменного фактора, влияющего на отклик системы.

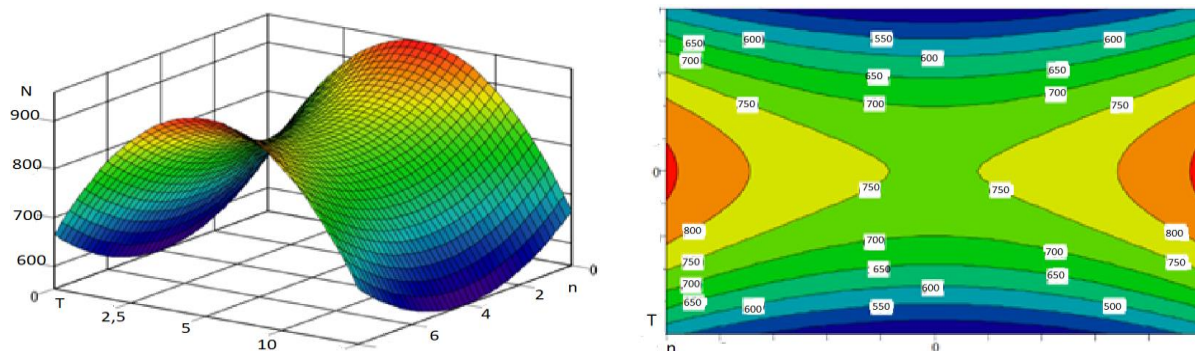


Рисунок 3.17. - Поверхность зависимости производительности от частоты вращения и времени смешивания и его двумерное сечение.

Подставим различные значения отклика Y в канонические уравнения было получено семейство сопряженных изолиний, когда $x_3 = 1,75$ т.е. значение времени смешивания находится в центре плана. Расположение элементов однородности в области эксперимента напоминало поверхность типа «эллипса». Наивысшая однородность в данном случае будет при частоте вращения шнека мешалки, равному 122 об/мин и количестве отверстий 4.

В рамках многомерного регрессионного анализа поверхность отклика описана в виде гиперболоида, представляющего собой сложную криволинейную поверхность, расширяющую понятие кривой второго порядка на форме гиперболы в пространстве нескольких измерений.

Центральная точка поверхности гиперболоида, или седловая точка, выступает в роли точки минимакса, что означает, что в зависимости от направления можно получить как минимум, так и максимум функции. Ось, вдоль которой гиперболические сечения простираются шире, соответствует индексу независимой переменной, коэффициент которой обладает наименьшей абсолютной величиной, что указывает

на сильную связь геометрии поверхности с относительной значимостью каждой переменной, влияющей на исход модели. Этот аспект подчеркивает важность весовых факторов и их вклад в итоговую функцию отклика.

При исследовании двумерного поперечного сечения, образуемого пересечением плоскости X_1X_3 с поверхностью отклика и анализе данных из представленной таблицы, выявлено, что оптимальное численное значение параметра отверстий (x_3) составляет 4,8. Этот вывод демонстрирует необходимость оптимального подбора факторов, чтобы добиться наилучшего результата отклика системы в условной модели.

Рассмотрим двумерное сечение в системе координат x_2 на x_3 , визуализированное на рисунке 8, при фиксированном значении $x_1=4$, что соответствует количеству отверстий в шнеке. Максимумы и минимумы производительности располагаются в пространстве эксперимента аналогично поверхности типа «Сходящихся гребней». Можно наблюдать, что переменная x_2 внутри данного интервала эксперимента оказывает влияние на параметр однородности, которое можно описать квадратичной зависимостью. При увеличении частоты вращения, удаляясь от центральной точки эксперимента, однородность имеет тенденцию к снижению. В то же время возрастание времени смешивания x_3 приводит к улучшению однородности продукта, что согласуется с квадратичным трендом.

В этой многомерной системе переменных играют важную роль уравнения второго порядка, демонстрирующие изменение результирующих характеристик на основе изменяющихся входных параметров производственного процесса. Применение параболической зависимости позволяет оптимизировать условия для достижения наилучших эксплуатационных свойств смесителя.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что оптимальные значения факторов лежат в пределах:

- для частоты вращения ω от 10,46 до 14,65 с^{-1} ;

– для коэффициента пересыпания $k=0.08\dots0.25$

При увеличении коэффициента пересыпания k , производительность непрерывно снижается с 3400 кг/ч до 2750 кг/ч, как показано на рисунке 3.18.

При повышении частоты вращения вала шнека однородность начинает возрастать, от $g=0,9$ при частоте вращения равной 100 об/мин, до $g=0.922$ при частоте вращения 120 об/мин. Однако, при дальнейшем увеличении частоты вращения вала смесителя до 140 об/мин, происходит снижение однородности кормосмеси до $g=0.76$ (рисунок 3.19). Такая низкая однородность корма не удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

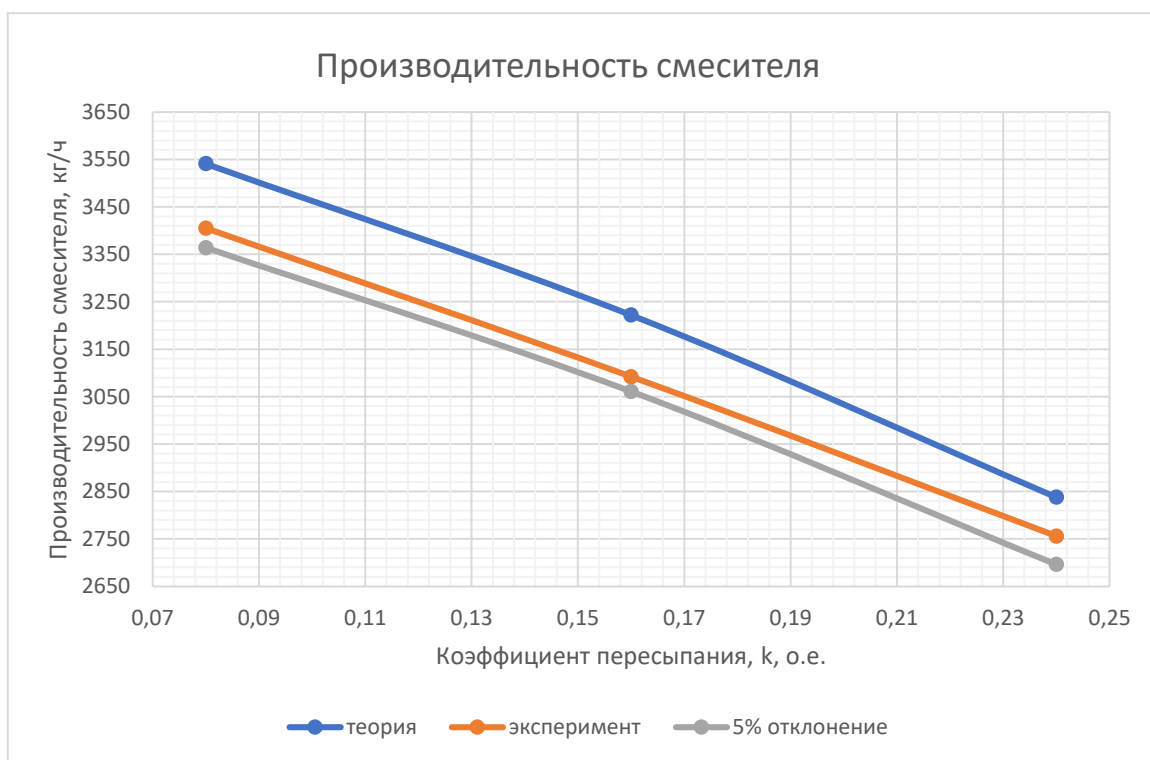


Рисунок 3.18. – График сходимости теоретических и экспериментальных результатов по производительности

При увеличении коэффициента пересыпания (от $k=0,08$ до $k=0,24$) непрерывно возрастает мощность ($N=0,845$ до $n=0.9$), потребляемая электродвигателем (рисунок 3.20). С учетом снижения производительности (с $Q=3410$ до $Q=2750$) при увеличении коэффициента пересыпания (рисунок 3.18), будет происходить непрерывное повышение энергоемкости от 0,248 до 0,334 кВт·ч/т процесса смешивания с, как показано на рисунке 3.21.

Однородность кормосмеси возрастает (от $G=0,9$ до $G=0,93$) при увеличении коэффициента пересыпания (от $k=0,08$ до $k=0,16$), а при дальнейшем увеличении коэффициента (до $k=0,24$), начинает снижаться (до $G=0,88$), как показано на рисунке 3.22.

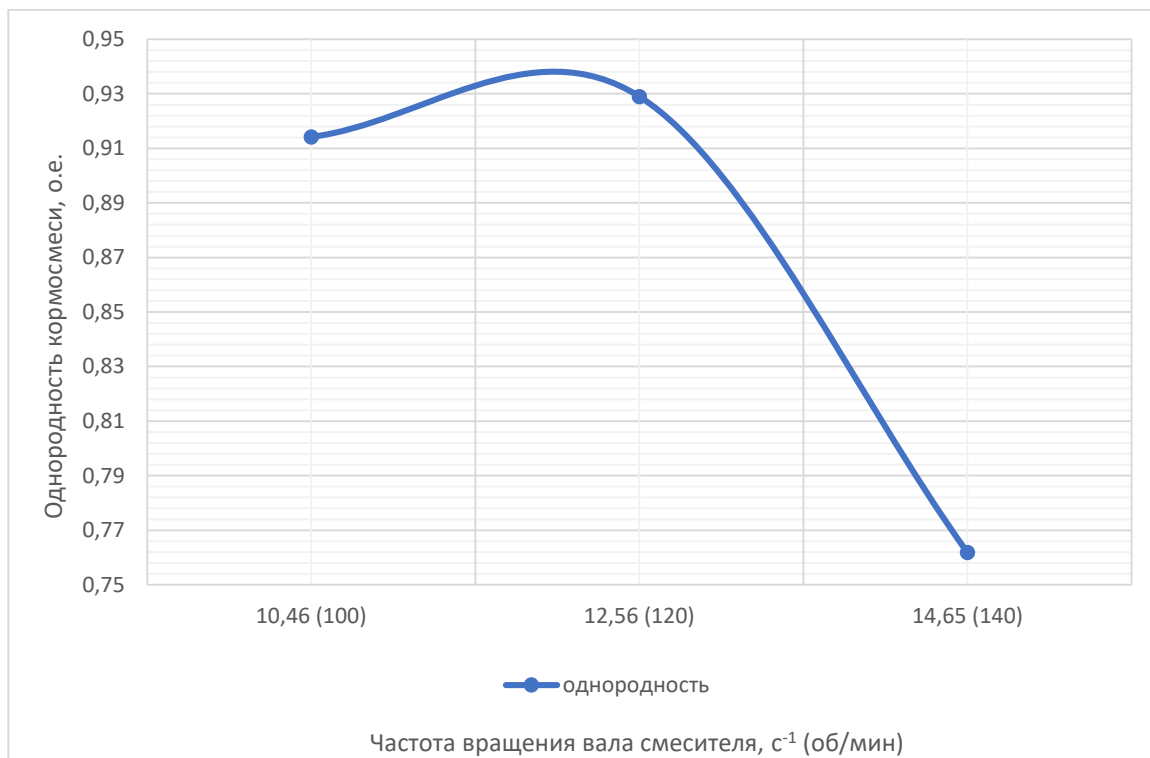


Рисунок 3.19. – График зависимости однородности корма от частоты вращения вала смесителя

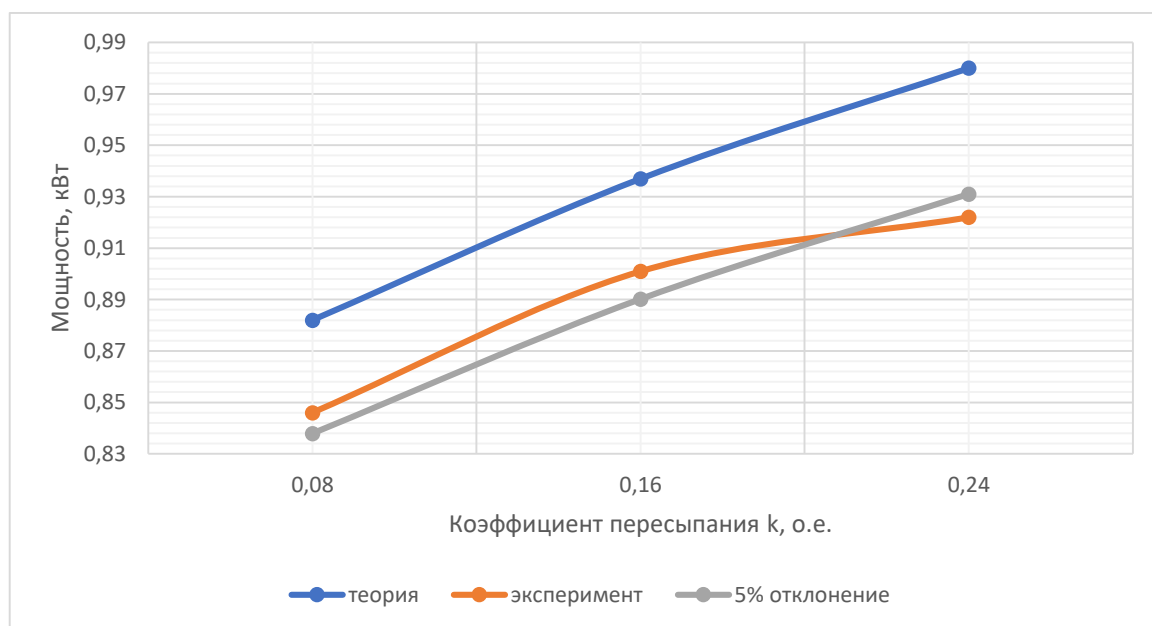


Рисунок 3.20. – График сходимости теоретических и экспериментальных результатов по мощности

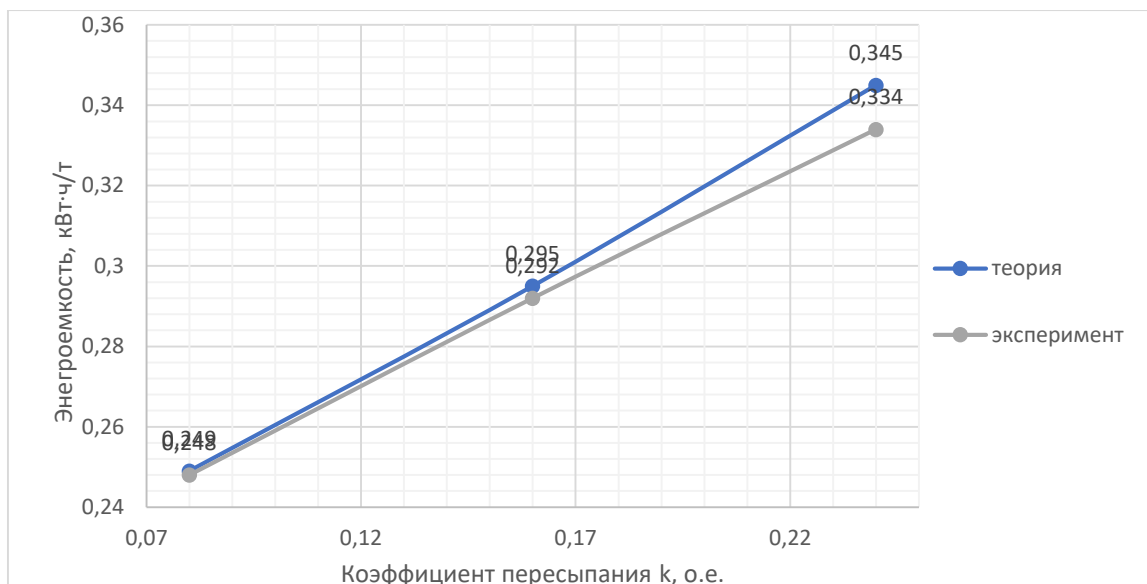


Рисунок 3.21. – График зависимости энергоемкости процесса смешивания от коэффициента пересыпания k

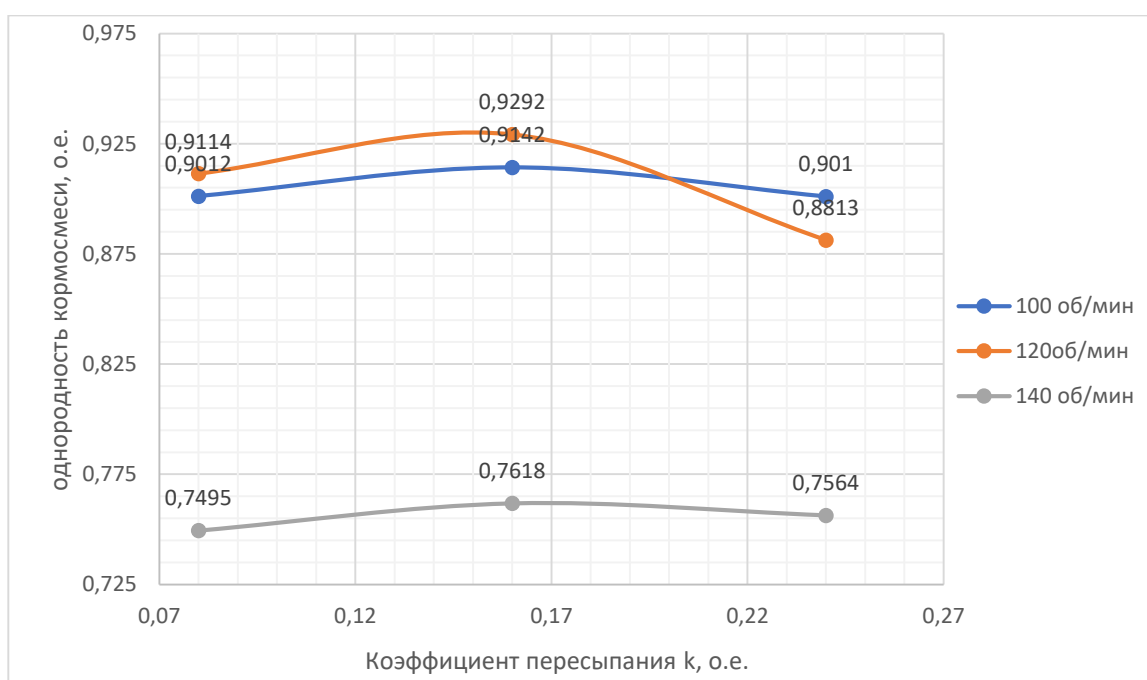


Рисунок 3.22. – График зависимости однородности корма от коэффициента пересыпания k

В процессе экспериментальных исследований решалась компромиссная задача между критериями оптимизации – производительностью, энергоемкостью и однородностью приготавливаемого корма и были получены оптимальные значения:

- для частоты вращения $\omega = 12,76 \text{ с}^{-1}$ (122 об/мин);
- для коэффициента пересыпания $k = 0,2$

3.4 Выводы по главе

При проведении практических исследований и анализе экспериментальных данных получены следующие результаты:

- изготовлен экспериментальный образец смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями

- экспериментально получены зависимости, характеризующие технологический процесс работы смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с циркуляционными отверстиями;

- благодаря данным зависимостям обоснованы оптимальные значения параметров с установлением степени сходимости теоретических и экспериментальных результатов исследования;

- обоснованы и определены конструктивно параметры смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека с навивкой, снабженной циркуляционными отверстиями: частота вращения – 122 об/мин, что входит в диапазон от 100 до 140 об/мин; коэффициент пересыпания $k = 0,2$, что входит в установленный ранее теорией диапазон от 0,1 до 0,25;

- в результате сопоставления теоретических и экспериментальных результатов установлено: экспериментальные значения мощности, потребляемой электродвигателем, энергоемкости процесса смешивания и производительности смесителя от коэффициента пересыпания укладываются в 95% доверительный интервал аналогичных теоретических значений.

.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Оценка экономической эффективности от внедрения предлагаемого смесителя кормов

За базу для сравнения предлагаемого смесителя принята существующая технология смешивания кормов смесителем СЛШ-3. Техничко-эксплуатационные характеристики сравниваемых смесителей представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Исходные данные для расчета экономической эффективности смесителя

Марка смесителя	Балансовая стоимость Сб, руб.	Производительность W, т/ч	Мощность электродвига- теля Ne, кВт	Энергоемкость процесса смешивания, кВт·ч/т	Масса, кг	Отчисление на тех. рем. и ТО	Отчисление на амортиза- цию
Предлага- емый смеси- тель	80000	3,8	1,0	0,3	100	0,11	0,2
СЛШ-3 (кон- трольный)	210000	3,7	1,5	1,0	185	0,11	0,2

Оценка экономической эффективности предложенной технологии и средств механизации проводилась по общепринятым методикам, предусмотренными ГОСТ Р 53057-2008 [17].

Сравнение предлагаемого смесителя концентрированных кормов с мешалкой в виде шнека с навивкой, оснащенной пересыпными отверстиями со смесителем кормов СЛШ-3. При этом, источником получения экономического

эффекта является повышение продуктивности сельскохозяйственных животных за счет повышения качества кормосмеси, снижение энергоемкости, затрат на ремонт и обслуживание смесителя.

Расчет будет проводиться при условии, что смеситель будет эксплуатироваться в личном подсобном хозяйстве (ЛПХ), что не предусматривает труд наемных работников.

Годовые эксплуатационные издержки определяются по формуле [17]:

$$И = А + ТР + П, \quad (4.1)$$

где, И – годовые эксплуатационные издержки; А – амортизационные отчисления. (таблица 4.2); ТР – затраты на текущий ремонт (таблица 4.2); П – прочие затраты составляют 12% от суммы.

Таблица 4.2. – Расчет затрат на амортизацию и текущий ремонт существующего смесителя кормов

Оборудование	Стоимость руб.	Отчисления на амортизацию, %	Отчисления на текущий ремонт, %	Сумма амортизации, руб.	Затраты на текущий ремонт, руб.
СЛШ-3	210000	16,6	14	34860	29400
Предлагаемый смеситель	80000	16,6	14	13280	11200

Прочие затраты определяются по формуле [17]:

$$П = (А + ТР) \cdot 0,12. \quad (4.2)$$

Определим прочие затраты и годовые эксплуатационные издержки для базового смесителя:

$$П_6 = (34860 + 29400) \cdot 0,12 = 7812 \text{ руб/год},$$

$$И_6 = 15106 + 12740 + 24941,52 = 72912 \text{ руб/год}. \quad (4.3)$$

Определим прочие затраты и годовые эксплуатационные издержки для предлагаемого смесителя:

$$П_п = (13280 + 11200) \cdot 0,12 = 2937 \text{ руб/год},$$

$$И_п = 13280 + 11200 + 2937 = 27417 \text{ руб/год}. \quad (4.4)$$

Годовой объем приготовления кормов определяются по формуле [17]:

$$W_{\text{год}} = q \cdot P \cdot D_c, \quad (4.5)$$

где $W_{\text{год}}$ – годовой объем приготовления кормов, т; q – суточная выдача корма одному животному, т ($q=0.015$); P – поголовье скота, гол. ($P=7$); D_c – период вскармливания коровы концентрированными кормами, дней ($D_c=365$).

Определим годовой объем приготавливаемого корма:

$$W_{\text{год}} = 0,015 \cdot 7 \cdot 365 = 38,3 \text{ т.} \quad (4.6)$$

Затраты на приготовление 1 т корма $I_{3б}$ определяются по формуле [17]:

$$I_3 = I / W_{\text{год}}. \quad (4.7)$$

Определим затраты на приготовление 1 т корма базовым и предлагаемым смесителями:

$$\begin{aligned} I_{3б} &= 72912/38,3 = 1903 \text{ руб/т,} \\ I_{3п} &= 27417/38,3 = 715 \text{ руб/т.} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Годовая экономия эксплуатационных издержек $З_{и}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} З_{и} &= I_{б} - I_{п}, \\ З_{и} &= 72912 - 27417 = 45495 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Удельные капиталовложения $K_{уд}$ определяются по формуле [17]:

$$K_{уд} = B / W_{\text{год}}, \quad (4.10)$$

где, B – балансовая стоимость оборудования (таблица 4.1), руб.

Определим удельные капиталовложения для базового и предлагаемого смесителя:

$$\begin{aligned} K_{удб} &= 210000/38,3 = 5483 \text{ руб/т,} \\ K_{удп} &= 80000/38,3 = 2088 \text{ руб/т.} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Годовые затраты электроэнергии $З_{эл}$ определяются по формуле [17]:

$$З_{эл} = g_{эл} \cdot C_{эл} \cdot W_{\text{год}}, \quad (4.12)$$

где $g_{эл}$ – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т корма (таблица 4.1); $C_{эл}$ – цена электроэнергии, 4,56 руб/кВт·ч.

Определим годовые затраты электроэнергии для базового и предлагаемого смесителя:

$$\begin{aligned} З_{элб} &= 1 \cdot 38,3 \cdot 4,56 = 174 \text{ руб,} \\ З_{элп} &= 0,3 \cdot 38,3 \cdot 4,56 = 52 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Годовая выручка от надоев R_y определяются по формуле [17]:

$$R_y = Y_k \cdot n_k \cdot n_{kd} \cdot C_l, \quad (4.14)$$

где, Y_k – удои с одного животного в год, кг; n_k – количество коров, шт; n_{kd} – доля дойных коров в стаде (при оптимальной структуре стада – 0,83); C_l – отпускная цена 1 кг молока, 60 руб.

Используя рисунки 1.1–1.3 можем определить, что среднестатистические годовые надои с одного животного в ЛПХ – 1381 кг сырого молока. Согласно исследованиям [6], [7], [13], при повышении однородности концентрированного корма с 80% до 90%, возрастают надои, по меньшей мере, на 7,5%.

Определим годовую выручку от надоев при использовании базового и предлагаемого смесителей:

$$\begin{aligned} R_{yб} &= 7 \cdot 0,83 \cdot 1381 \cdot 60 = 481416 \text{ руб}, \\ R_{yп} &= 7 \cdot 0,83 \cdot 1484 \cdot 60 = 517522 \text{ руб}. \end{aligned} \quad (4.15)$$

Доход на 1 тонну корма R_y определяются по формуле:

$$R_{yt} = R_y / W_{год}. \quad (4.16)$$

Определим прибыль на 1 тонну корма при использовании базового и предлагаемого смесителей:

$$\begin{aligned} R_{ytб} &= 481416 / 38,3 = 12569 \text{ руб/т}, \\ R_{ytп} &= 517522 / 38,3 = 13512 \text{ руб/т}. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_г &= R_{yп} - R_{yб} + И_б - И_н = \text{руб}, \\ \mathcal{E}_г &= 517522 - 481416 + 72912 - 27417 = 81601 \text{ руб/т} \approx 81 \text{ тыс руб/год}. \end{aligned} \quad (4.18)$$

Годовой экономический эффект на 1 тонну корма определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{гк} = \mathcal{E}_г / W_{год}, \quad (4.19)$$

где $\mathcal{E}_{гк}$ – годовой экономический эффект на 1 тонну корма, руб/т.

Определим годовой экономический эффект на 1 тонну корма:

$$\mathcal{E}_{гк} = 81000 / 38,3 = 2114 \text{ руб/т} \approx 2100 \text{ руб/т}. \quad (4.20)$$

Удельный годовой экономический эффект на 1 животное можно определить по формуле:

$$\Theta_{\text{гy}} = \Theta_{\text{г}} / n_{\text{к}}, \quad (4.21)$$

где $\Theta_{\text{гy}}$ – годовой экономический эффект на 1 животное, руб.

Определим годовой экономический эффект на 1 животное:

$$\Theta_{\text{гy}} = 81000 / 7 = 11570 \text{ руб} \approx 11500 \text{ руб}. \quad (4.22)$$

Согласно полученным результатам, годовой экономический эффект предлагаемого смесителя комбикормов составит 81 тыс руб, а срок окупаемости капиталовложений – 1 год.

Для оценки эффективности инвестиций используется следующий показатель – чистый дисконтированный доход [17]:

$$\text{ЧДД} = \Theta_{\text{г общ}} \frac{1 - (1+i)^{-t}}{i} - Б, \quad (4.23)$$

где, ЧДД – чистый дисконтированный доход, руб.; i – доходность альтернативного вложения капитала (по депозитным вкладам в банк); t – срок службы рассматриваемого технического средства, г.

Срок службы рассматриваемых рабочих органов принимаем равный семи годам.

Рассматриваемые далее варианты инвестиций по международной классификации относятся как к третьему классу – обновление основных производственных фондов, так и к четвертому – экономия затрат. Для третьего класса капиталовложений рекомендуемая ставка процента на капитал составляет 0,12, а для четвертого – 0,15. В расчетах примем i , равное 0,12.

Подставим полученные данные в выражение (4.23):

$$\text{ЧДД} = 81000 \cdot \frac{1 - (1+0,12)^{-7}}{0,12} - 80000 = 289900 \text{ руб} \approx 290 \text{ тыс. руб}. \quad (4.24)$$

Чистый дисконтированный доход является положительным. Следовательно, инвестиции в предлагаемый вариант технологии являются эффективными.

После проведения сравнительной экономической эффективности предлагаемого смесителя с базовой моделью СЛШ–3, были определены основные показатели для каждого из технического средства и проведен их сравнительный анализ (таблица 4.3).

Таблица 4.3. – Показатели сравнительной экономической эффективности технологий и средств механизации приготовления концентрированных кормов

№ п/п	Показатели	Предлагаемый	СЛШ-3 базовый	Разница с базовым вариантом
1	Балансовая стоимость оборудования, тыс. руб.	80	210	130
2	Годовые эксплуатационные издержки, руб.	27417	72912	45495
3	Затраты на 1 т корма, руб./т	715	1903	1188
4	Удельные капиталовложения, руб./т	2088	5483	3395
5	Годовая экономия эксплуатационных издержек, тыс. руб.	45	–	–
6	Годовые затраты электроэнергии, руб.	52	174	122
7	Годовая выручка от надоев, руб.	517522	481416	–
8	Годовая прибыль от увеличения надоев, тыс. руб.	36	–	–
9	Ориентировочный годовой экономический эффект, тыс. руб.	81	–	–
10	Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	290	–	–

4.2 Выводы по главе

В результате оценки и анализа технико-экономических показателей смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями, были получены следующие результаты:

- проведена экономическая оценка эффективности внедрения предложенного смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с циркуляционными отверстиями;

- внедрение смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями в ЛПХ с численностью КРС 7 голов, позволит получить: годовой экономический эффект 81 тыс. руб., срок окупаемости капиталовложений составит 1 год, ЧДД за 7 лет 290 тыс. руб. Экономический эффект достигается за счет увеличения продуктивности КРС благодаря вскармливанию им концентрированных кормов с высокими качественными показателями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основании проведенного анализа тенденций развития технических средств для смешивания концентрированных кормов, применяемых на животноводческих предприятиях АПК, усовершенствована классификация смесителей концентрированных кормов, которая позволила разработать конструктивно-технологическую схему смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями. Новизна технических решений подтверждена патентами на изобретение: №2813791 «Смеситель кормов», №2805955 «Смеситель кормов».
2. В результате проведенного теоретического анализа процесса смешивания концентрированных кормов смесителем концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного пересыпными отверстиями, определены аналитические выражения, которые характеризуют взаимосвязь между технологическими и конструктивно–режимными параметрами, что позволило определить конструктивные и технологические параметры смешивания концентрированных кормов, влияющих на однородность, и производительность процесса смешивания, а также мощность, потребляемую электродвигателем при работе: частота вращения вала смесителя от 100 до 140 об/мин; рекомендуемая продолжительность периода непрерывной работы смесителя от 2,5 до 10 минут; диаметр шнека и мешалки – 0,1 м; шаг витка навивки – 0,11 м, длина мешалки – 0,55 м; длина шнека – 0,55 м; коэффициент пересыпания – 0,1...0,25, при этом диаметр циркуляционных отверстий 0,02 м, а их количество на каждый виток от 2 до 6 включительно. При таких параметрах производительность смесителя составит 2838–3541 кг/час; потребляемая электродвигателем мощность составит от 0,882 до 0,98 кВт; энергоемкость процесса смешивания – от 0,236 до 0,42 кВт·ч/т.
3. Изготовлен экспериментальный образец смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями. Получены математические модели оценки работы

устройства в виде адекватных уравнений регрессии в режиме приготовления концентрированных кормов смесителем концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного пересыпными отверстиями. Оптимизированы конструктивно параметры смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека с навивкой, снабженной циркуляционными отверстиями: частота вращения – 122 об/мин, что входит в диапазон от 100 до 140 об/мин; коэффициент пересыпания, 0,2, что входит в установленный ранее диапазон от 0,1 до 0,25.

4. В результате сопоставления теоретических и экспериментальных результатов установлено: экспериментальные значения мощности, потребляемой электродвигателем, энергоемкости процесса смешивания и производительности смесителя от коэффициента пересыпания укладываются в 95% доверительный интервал аналогичных теоретических значений.

5. Внедрение смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного навивкой с пересыпными отверстиями в ЛПХ с численностью КРС 7 голов, позволит получить: годовой экономический эффект 81 тыс. руб., срок окупаемости капиталовложений составит 1 год, ЧДД за 7 лет 290 тыс. руб. Экономический эффект достигается за счет увеличения продуктивности КРС благодаря вскармливанию им концентрированных кормов с высокими качественными показателями.

Рекомендации производству

Предложенная в работе конструктивно-технологическая схема смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного пересыпными отверстиями, а также параметры его рабочих органов могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке технических средств для механизации животноводства в условиях МФХ, ЛПХ. Конструктивно-технологическая схема может быть использована для самостоятельного изготовления смесителя в условиях МФХ, ЛПХ.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Совершенствование смесителя концентрированных кормов с рабочим органом в виде шнека, оснащенного пересыпными отверстиями является перевод смесителя на мобильную основу, а также установка шиберных заслонок, которая увеличит количество приготавливаемых кормов различной рецептуры, благодаря установке шиберной заслонки, которая позволит изменять дозировку каждого компонента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астапов, С. Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Астапов Сергей Юрьевич. – Мичуринск, 2007. – 138 с.
2. Боровиков, И. А. Влияние конструктивно-кинематических параметров смесителя сухих кормов на качество смешивания / И. А. Боровиков // Роль науки в развитии АПК : Сборник научных трудов научно-практической конференции инженерного факультета Пензенской ГСХА, Пенза, 01 января – 31 2005 года / Федеральное агентство по сельскому хозяйству; ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия". – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. – С. 243-245.
3. Боровиков, И. А. Влияние конструктивно-кинематических параметров смесителя сухих кормов на качество смешивания / И. А. Боровиков // Роль науки в развитии АПК : Сборник научных трудов научно-практической конференции инженерного факультета Пензенской ГСХА, Пенза, 01 января – 31 2005 года / Федеральное агентство по сельскому хозяйству; ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия". – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. – С. 243-245.
4. Воронцов, СИ. Обоснование параметров рабочих органов раздатчика-смесителя кормов // Инновационные пути развития животноводства. Сборник научных трудов. КЧГТА. Изд-во Сервисшкола- Ставрополь, 2009- С. 238-240.
5. Евсеенков, С. В. Повышение эффективности процесса смешивания компонентов сыпучих кормов : специальность 05.20.01 "Технологии и сред-

- ства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Евсеенков Сергей Владимирович. – Челябинск, 1994. – 361 с.
6. Иванов, Г. Ф. Анализ процесса непрерывного смешивания кормов для крупного рогатого скота / Г. Ф. Иванов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 1975. – № 19. – С. 28-32.
 7. Иванова, О. П. Повышение эффективности смешивания сыпучих кормов в животноводстве / О. П. Иванова, С. П. Зайцев, П. В. Зайцев // Студенческая наука - первый шаг к цифровизации сельского хозяйства : материалы II Всероссийской студенческой научно-практической конференции : в 3 ч., Чебоксары, 30 сентября 2022 года / Чувашский государственный аграрный университет. Том Часть 3. – Чебоксары: Б. и., 2022. – С. 118-121.
 8. Исследования роторного шнекового дозатора кормов / А. Н. Глобин, Д. Ю. Глазков, И. Э. Липкович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 205. – С. 217-236. – DOI 10.21515/1990-4665-205-021.
 9. Карабухин, Д. В. Анализ устройств для смешивания кормов / Д. В. Карабухин // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века : Сборник XII международной студенческой научной конференции, Ачинск, 25 апреля 2024 года. – Ачинск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – С. 29-33.
 10. Крушельницкий, А. Р. Моделирование процесса смешивания кормов шнековыми рабочими органами / А. Р. Крушельницкий, Д. П. Сысоев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко, Краснодар, 26–30 ноября 2016 года /

- Отв. за вып. А. Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. – С. 554-555.
11. Курков, Ю. Б. Обоснование технологических параметров линии смешивания кормов с использованием растительных добавок для проращивания зерна сои / Ю. Б. Курков, В. З. Ременев // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2008. – С. 133-137.
 12. Макаров, В.А. Теоретические основы рабочего процесса пресса для производства влажных гранул / В.А. Макаров и [др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.agroecoinfo.narod.ru/journal/indcx.html.
 13. Мартыненко, Я.Ф. Промышленное производство комбикормов / Я.Ф. Мартыненко. – М.: Колос, 1975. – 216 с.
 14. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
 15. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин. – Л.: Колос, 1972. – 182 с.
 16. Метод оценки качества смешивания кормов / С.М. Доценко [и др.]
 17. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК. – М.: РАСХН, 2007. – 31 с.
 18. Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме
 19. Механизация и автоматизация животноводства: учебник / В.В. Кирсанов [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 400 с.
 20. Механизация и технология животноводства: учебник для вузов / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич [и др.]. – М.: Колос, 2007. – 581 с.
 21. Механизация и технология производства продукции животноводства

- / В.Г. Коба [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 528 с.
- 22.Монари, С. Справочник по использованию в кормлении животных соевых бобов / С. Монари. – Вашингтон, 1994. – 64 с.
- 23.Мохнаткин, В. Г. Статистическая оценка качества смешивания кормов / В. Г. Мохнаткин, М. С. Поярков, Р. М. Горбунов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : Материалы XV Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», Киров, 14 февраля 2022 года. Том Выпуск 22. – Киров: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятский государственный агротехнологический университет, 2022. – С. 70-73.
- 24.Мурусидзе, Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, В.Н. Дегеза, Р.Ф. Филонов. - М.: КолосС, 2005. - 432 с.
- 25.Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
- 26.Небывалова, В. А. Пути улучшения технических средств по смешиванию кормов / В. А. Небывалова, Е. Ю. Редкозубова // СТУДЕНТ года 2019 : сборник статей Международного научно- исследовательского конкурса : в 3 ч., Петрозаводск, 17 ноября 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2019. – С. 384-387.
- 27.Орлова, И. В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование / И.В. Орлова, В.А. Полковников. – М.: Вузовский учебник, 2009. – 365 с.
- 28.Основные параметры горизонтального шнека с U-образным кожухом / Д. Ю. Глазков, А. Н. Глобин, И. Н. Краснов, А. В. Касьяненко // Вестник аграрной науки Дона. – 2024. – Т. 17, № 1(65). – С. 48-55. – DOI 10.55618/20756704_2024_17_1_48-55.

- 29.Особов, В.И. Теоретические основы уплотнения волокнистых растительных материалов / В.И. Особов / Труды ВИСХОМ. – М., 1967. – Вып.
- 30.Оценка качества смешивания кормов / А.В. Бурмага [и др.]. – М.: БД НИИТЭИагропрома, 1996. – № 91/10. – 6 с.
- 31.Оценка процесса смешивания кормов / Г.М. Кукта [и др.] // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. –
- 32.Патент № 2555581 С1 Российская Федерация, МПК А23К 1/14, А23К 1/16. Способ приготовления гранулированного кормового продукта : № 2014115558/13 : заявл. 17.04.2014 : опубл. 10.07.2015 / С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.
- 33.Патент № 2563673 С1 Российская Федерация, МПК А23К 1/16, А23К 1/00. Способ приготовления белково-витаминно-минерального кормового продукта : № 2014113258/13 : заявл. 04.04.2014 : опубл. 20.09.2015 / С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.
- 34.Патент № 2563676 С1 Российская Федерация, МПК А23К 1/16, А23К 1/00. Способ приготовления белково-углеводно-минерального кормового продукта : № 2014112840/13 : заявл. 02.04.2014 : опубл. 20.09.2015 / С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.

35. Патент № 2563677 С1 Российская Федерация, МПК А23К 1/10, А23К 1/175, А23К 1/16. Способ приготовления белково-минерально-витаминного кормового продукта : № 2014112854/13 : заявл. 02.04.2014 : опубл. 20.09.2015 / С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.
36. Патент № 2621354 С Российская Федерация, МПК А23К 40/10, А23К 10/30, А23К 20/20. Способ приготовления гранулированного корма : № 2016137454 : заявл. 19.09.2016 : опубл. 02.06.2017 / С. М. Доценко, А. И. Гончарук, О. В. Гончарук [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ".
37. Патент № 2634004 С Российская Федерация, МПК А23L 11/00, А23L 19/00, А23J 1/14. Способ приготовления белково-витаминных продуктов функциональной направленности : № 2016133960 : заявл. 18.08.2016 : опубл. 23.10.2017 / С. М. Доценко, А. Г. Иванов, А. И. Гончарук [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ".
38. Патент № 2652387 С1 Российская Федерация, МПК А23К 40/10. Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта : № 2017123906 : заявл. 05.07.2017 : опубл. 26.04.2018 / С. М. Доценко,

- С. А. Винокуров, А. В. Бурмага [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).
39. Патент № 2663610 С2 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Агрегат для поточного приготовления заменителя цельного молока и комбикормов : № 2016148580 : заявл. 09.12.2016 : опубл. 07.08.2018 / С. М. Доценко, А. Г. Иванин, И. В. Соболев [и др.] ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ".
40. Патент № 2685943 С1 Российская Федерация, МПК В30В 11/00, А23N 17/00. прессующее устройство : № 2018128654 : заявл. 03.08.2018 : опубл. 23.04.2019 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, С. А. Винокуров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет".
41. Патент № 2690637 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. пресс-гранулятор : № 2018128653 : заявл. 03.08.2018 : опубл. 04.06.2019 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, С. А. Винокуров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет".
42. Патент № 2727255 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/00. Способ получения белково-кальциево-токофероловой добавки : № 2019132172 : заявл. 10.10.2019 : опубл. 21.07.2020 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).

43. Патент № 2727270 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/30, А23К 40/10. Способ приготовления каротино-кальциевой добавки : № 2019131289 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 21.07.2020 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).
44. Патент № 2727272 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/30, А23К 40/20. Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта : № 2019131294 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 21.07.2020 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова, А. В. Якименко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).
45. Патент № 2729216 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/30, А23К 40/10. Способ приготовления белково-концентратной добавки : № 2019131287 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 05.08.2020 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).
46. Патент № 2729393 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/30, А23К 40/10. Способ приготовления белково-витаминного концентрата : № 2019131291 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 06.08.2020 / С. М. Доценко, П. Н. Школьников, Л. Г. Крючкова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ).
47. Патент № 2805955 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Смесь кормов : № 2023102725 : заявл. 06.02.2023 : опубл. 24.10.2023 / В.

- Ю. Фролов, К. П. Рытов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".
48. Патент № 2813791 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Смесь кормов : № 2023115557 : заявл. 13.06.2023 : опубл. 16.02.2024 / В. Ю. Фролов, К. П. Рытов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".
49. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н.С. Пискунов. – М.: Наука, 1976. – Т. 1. – 445 с.
50. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 279 с.
51. Повышение эффективности процесса получения пастообразных продуктов / В. Ю. Фролов, М. А. Школьников, Л. Г. Крючкова [и др.] // Поли тематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 195. – С. 182-198. – DOI 10.21515/1990-4665-195-020.
52. Пошевкин, Ю.Б. Оценка равномерности распределения ингредиентов в кормосмесях / Ю.Б. Пошевкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1980. – № 3. – С. 25 – 28.
53. Радченко, Г.Е. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий протекания процесса / Г.Е. Радченко. – Горки, 1978. – 72 с.
54. Рытов, К. П. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя с перфорированным рабочим органом / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 79-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2023 год. В 2-х частях, Краснодар, 25 апреля 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 385-387.

55. Рытов, К. П. Параметры и режимы работы смесителя концентрированных кормов с мешалкой в виде шнека с перфорированной навивкой / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 78-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2022 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2023 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощев. Том Часть 2. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 311-313.
56. Рытов, К. П. Повышение качества смешивания концентрированных кормов / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Вектор современной науки : Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 902-903.
57. Рытов, К. П. Повышение качества смешивания концентрированных кормов / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Вектор современной науки : Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 902-903.
58. Рытов, К. П. Повышение качества смешивания концентрированных кормов / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Вектор современной науки : Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 902-903.
59. Рытов, К. П. Повышение эффективности процесса смешивания смесителем с рабочим органом в виде шнека с перфорированной навивкой / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Точки научного роста: на старте десятилетия

- науки и технологии : Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022 г., Краснодар, 12 мая 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 415-417.
60. Рытов, К. П. Смеситель кормов с перфорированным рабочим органом / К. П. Рытов, В. Ю. Фролов // Эффективное животноводство. – 2024. – № 3(193). – С. 96-97. – DOI 10.24412/cl-33489-2024-3-96-97.
61. Сабиев, У. К. Новые измельчители в кормоприготовлении / У. К. Сабиев, Д. В. Кукуруза // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Сборник XI Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию кафедры Электротехники в Омском сельскохозяйственном институте им. С.М. Кирова (Технического сервиса, механики и электротехники) ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 29 февраля 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 238-243.
62. Сабиев, У. К. Сменные перемешивающие рабочие органы вибрационного смесителя сыпучих кормов / У. К. Сабиев, А. Н. Яцунов, А. В. Бузун // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Сборник XI Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию кафедры Электротехники в Омском сельскохозяйственном институте им. С.М. Кирова (Технического сервиса, механики и электротехники) ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 29 февраля 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 225-231.
63. Сабиев, У. К. Сменные перемешивающие рабочие органы вибрационного смесителя сыпучих кормов / У. К. Сабиев, А. Н. Яцунов, А. В. Бузун // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Сборник XI Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию кафедры Электротехники в Омском сельскохозяйственном институте им. С.М. Кирова (Технического сервиса,

- механики и электротехники) ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 29 февраля 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 225-231.
64. Семенихин, А. М. Совершенствование процесса смешивания измельчителем-смесителем-раздатчиком кормов ИСРК-12 в условиях реальной МТФ / А. М. Семенихин, С. А. Шварц, В. С. Дзрян // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства : Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, Москва, 22–23 мая 2018 года. – Москва: Издательство "Перо", 2018. – С. 234-239.
65. Слободскова, А. А. К вопросу качества смешивания концентрированных кормов / А. А. Слободскова, Е. С. Семина // Инновационные научно-технические разработки и исследования молодых учёных для АПК : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках Совещания Советов молодых учёных и специалистов аграрных вузов Центрального федерального округа, Рязань, 07–08 апреля 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский Государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» совет молодых учёных рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева совет молодых учёных и специалистов рязанской области. – Рязань: ргат, 2021. – С. 154-157.
66. Соболев, Р.В. Совершенствование технологии и обоснование параметров технологической линии приготовления кормов с использованием сои: автореф. дисс. ...канд. техн. наук / Р.В. Соболев. – Благовещенск, 2011. – 24 с.
67. Совершенствование технологии приготовления комбикормов-концентратов / Ю. Б. Курков, Т. П. Кулагина, И. В. Бряков, А. Ю. Курков //

- Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : Сборник научных трудов. Том Выпуск 18. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2011. – С. 92-97.
68. Соколов, А.Я. Совершенствование конструкции матриц грануляторов / А.Я. Соколов, В.Ю. Полищук, М.Л. Овдиенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 11. – С. 5-7.
69. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.М. Венедиктов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1989. – 358 с.
70. Справочник: комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных, состав и применение. – М.: ВО АГропромиздат, 1990. – 304 с.
71. Сыроватка, В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах: монография / В.И. Сыроватка; ГНУ ВНИИМЖ. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 247 с.
72. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов. / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.
73. Сысоев, Д. П. Ресурсосберегающие технологии и технические средства приготовления кормов для животноводческих предприятий малых форм хозяйствования / Д. П. Сысоев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 1(33). – С. 104-111. – EDN ZAIREД.
74. Теоретические исследования процесса смешивания кормов при использовании мобильных раздатчиков / Ю. Б. Курков, А. В. Бурмага, Т. А. Краснощекова [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2019. – № 4(52). – С. 60-65. – DOI 10.24411/1999-6837-2019-14053. Теоретические исследования процесса смешивания кормов центробежным смесителем / А. Н. Глобин, Д. Ю. Глазков, И. Э. Липкович [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 5(65). – DOI 10.51419/202145504.

75. Теоретические исследования процесса смешивания кормов центробежным смесителем / А. Н. Глобин, Д. Ю. Глазков, И. Э. Липкович [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 5(65). – DOI 10.51419/202145504.
76. Технология производства экструдированных комбикормов-концентратов / Ю. Б. Курков, В. К. Бряков, В. Ф. Кузин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 11. – С. 10-11.
77. Титенок, А.В. Повышение эффективности процесса измельчения корнеплодов режущими элементами: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Титенок. – Саратов, 1988. – 24 с.
78. Туманова, М. И. Модернизация группового станка для содержания поросят-отъемышей на свиноводческих предприятиях АПК / М. И. Туманова, Е. А. Котелевская, К. П. Рытов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 191. – С. 51-60. – DOI 10.21515/1990-4665-191-012.
79. Уайлд, Д.Дж. Методы поиска экстремума / Д.Дж. Уайлд. – М.: Наука, 1967. – 234 с.
80. Уланов, И.А. Исследование технологического процесса приготовления смесей из грубых и сочных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / И.А. Уланов. – Саратов, 1965. – 26 с.
81. Уланов, И.А. Машины для смешивания, гранулирования и тепловой обработки кормов (теория и расчет) / И.А. Уланов. – Саратов: Саратовский СХИ, 1977. – 40 с.
82. Федоренко, И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов : учебное пособие / И.Я. Федоренко. – М.: ФОРУМ, 2007. – 176 с.
83. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М., 1967. – 552 с.

84. Фролов, В. Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя с перфорированным рабочим органом / В. Ю. Фролов, К. П. Рытов // Современные векторы развития науки : Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год, Краснодар, 06 февраля 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 348-349.
85. Фролов, В. Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя с перфорированным рабочим органом / В. Ю. Фролов, К. П. Рытов // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: новые подходы и актуальные исследования : Материалы Международной научно-практической конференции в рамках мероприятий «Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации», 300-летия Российской академии наук, Краснодар, 24–25 апреля 2024 года. – Краснодар: ИП Копыльцова П.И., 2024. – С. 506-507. – DOI 10.33775/conf-2024-506-507.
86. Фролов, В. Ю. Проектирование и расчеты поточных технологических линий животноводческих ферм и комплексов : Для обучающихся по направлению 35.03.06, 35.04.06 "Агроинженерия", 35.06.04 "Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства)" / В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, В. П. Коваленко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – 282 с. – ISBN 978-5-00097-512-1.
87. Фролов, В. Ю. шнековый смеситель концентрированных кормов / В. Ю. Фролов, А. В. Бычков, К. П. Рытов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 184. – С. 248-259. – DOI 10.21515/1990-4665-184-021.
88. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.

- 89.Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
- 90.Шенкель, Г. Шнековые прессы для пластмасс / Г. Шенкель. – М.: Госхимиздат, 1962. – 408 с.
- 91.Широков, В.А. Научно-технические аспекты повышения эффективности приготовления комбикормов-концентратов на основе соевозерновых смесей: монография / В.А. Широков, С.М. Доценко, В.В. Петров [и др.] – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – 227 с.
- 92.Школьников, П. Н. Научные основы разработки пресс- гранулятора для производства кормовых продуктов кроликам / П. Н. Школьников, К.М. Горбунов, А. И. Гончарук // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_204.doc.
- 93.Школьников, П.Н. Основы разработки смесителя-усреднителя для линии производства гранулята кроликам / П. Н. Школьников, К. М. Горбунов, А. И. Гончарук и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc.
- 94.Школьников, М. А. Теоретическое и экспериментальное обоснование способа и параметров устройства для приготовления кормов на основе картофельно-тыквенной композиции концентрированных кормов / М. А. Школьников, К. П. Рытов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 194. – С. 245-253. – DOI 10.21515/1990-4665-194-025.
- 95.Школьников, М.А. Обоснование технологических подходов к повышению эффективности системы приготовления кормовых продуктов / М.А. Школьников, Л.А. Ковалева, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – №2. – URL:http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_238.pdf.
- 96.Якименко, А.В. Определение затрат мощности на преодоление сил трения ОКМ в гранулирующей головке экспериментальной установки для гранулирования кормосмесей / А.В. Якименко // Механизация и

- электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1996. – С. 42-45.
97. Якименко, А.В. Определение производительности экспериментальной установки для гранулирования кормосмесей / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1996. – С. 39-41.
98. Якименко, А.В. Производство витаминно-травяной муки без активной сушки сырья / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1994. – С. 10-12.
99. Якименко, А.В. Совершенствование технологического процесса прессования кормовых смесей и обоснование параметров пресс-брикетировщика: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Я.В. Якименко. – Благовещенск, 1997. – 24 с.
100. Якименко, А.В. Установка для производства гранул / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ сельскохозяйственном производстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1995. – С. 38-40.
101. Frolov, V. Auger feed mixer with perforated winding / V. Frolov, K. Rytov, E. Samurganov // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 84. – P. 05044. – DOI 10.1051/bioconf/20248405044.
102. Konev, A. Yu. Mixing in the preparation of complete feed / A. Yu. Konev, N. V. Kholshchev // The World of Science without Borders : PROCEEDINGS OF THE 10th ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE (WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION) FOR YOUNG RESEARCHERS, Tambov, 21 апреля 2023 года. – Tambov: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – P. 94-96.
103. Lozhkina, E. B. Classification of dry feed mixers / E. B. Lozhkina, S. M. Vedishchev, V. S. Lozhkin // The World of Science without Borders : PROCEED-

INGS OF THE 10th ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE (WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION) FOR YOUNG RESEARCHERS, Tambov, 21 апреля 2023 года. – Tambov: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – Р. 97-99.

ПРИЛОЖЕНИЯ

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной
работе КубГАУ, профессор
А.Г. КОШАЕВ
"5" "12" 2023 г.
М.П.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель организации
КХ «РОДНИЧОК»
Эйрих О.В. ЭЙРИХ
"08" "09" 2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технических работ в высших учебных заведениях

Заказчик КРЕСТЬЯНСКОЕ ХОЗЯЙСТВО «РОДНИЧОК»
ЭЙРИХ ОЛЕГ ВИКТОРОВИЧ
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы смесителя
концентрированных кормов
(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(Наименование ВУЗа)

стоимость БЕЗ ОПЛАТЫ
(Цифрами и прописью)

внедрены КРЕСТЬЯНСКОЕ ХОЗЯЙСТВО «РОДНИЧОК»
(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
(Эксплуатация изделий, работы, технологии производство изделий, работы, технологии;
КОРМОВ СМЕСИТЕЛЕМ
функционирование системы)

2. Характеристика масштаба внедрения
ЕДИНИЧНОЕ
(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:
Методика (метод) РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ
ПРИНЦИПИАЛЬНО-НОВЫЕ
(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)

5. Опытнo-промышленная проверка _____
(Указать номер и дату актов)
КРЕСТЬЯНСКОЕ ХОЗЯЙСТВО «РОДНИЧОК»
испытаний, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:
- в промышленное производство СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
- в проектные работы ---
(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект ожидаемый 180000
/СТО ВОСЕМЬДЕСЯТ ТЫСЯЧ
РУБЛЕЙ/ руб.
(от внедрения в проект)

фактический --- руб.
в том числе долевое участие --- руб.
(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов
руб./руб.

9. Объем внедрения 50000 /ПЯТЬДЕСЯТ ТЫСЯЧ ПЯТЬСОТ/ РУБЛЕЙ
что составляет 30 /ТРИДЦАТЬ/ % от объема внедрения

положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР ($E_{ГАР}$ = _____ руб.), а при этапном внедрении $E_{ГАР}$ = _____ руб. при заключении договора.

10. Социальный и научно-технологический эффект _____

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

(Охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий труда, совершенствование структуры управления, научно-технических направлений, специальные направления и т.д.)

От ВУЗа
Руководитель НИР
В.Ю. ФРОЛОВ
Исполнители НИР
К.П. РЫТОВ

От предприятия
Директор
О.В. ЭЙРИХ



СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной
работе КубГАУ, профессор

А.Т. КОШАЕВ

2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель организации
ООО «СХП им. П. П. Лукьяненко»

Пискун Н. А.

" 3 " 2023 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ООО «СХП им. П. П. Лукьяненко»

Пискун Николай Александрович
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы смесителя
(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(Наименование ВУЗа)

стоимость БЕЗ ОПЛАТЫ
(Цифрами и прописью)

внедрены ООО «СХП им. П. П. Лукьяненко»
(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
(Эксплуатация изделий, работы, технологии производство изделий, работы, технологии;
КОРМОВ СМЕСИТЕЛЕМ
функционирование системы)

2. Характеристика масштаба внедрения
ЕДИНИЧНОЕ
(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Методика (метод) РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ ПРИНЦИПИАЛЬНО-НОВЫЕ
(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)

5. Опытнo-промышленная проверка _____
(Указать номер и дату актов)

_____ ООО «СХП им. П. П. Лукьяненко»
испытаний, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

- в промышленное производство _____ СЕЛЬСКОЕ
ХОЗЯЙСТВО _____

- в проектные работы _____
(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект ожидаемый _____ 70000 _____
/СЕМЬДЕСЯТ ТЫСЯЧ РУБЛЕЙ/ руб.
(от внедрения в проект)

фактический _____ руб.
в том числе долевое участие _____ руб.
(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов _____ руб./руб.

9. Объем внедрения _____ 50000 / ПЯТЬДЕСЯТ ТЫСЯЧ / РУБЛЕЙ
что составляет _____ 30 / ТРИДЦАТЬ / _____ % от объема внедрения
положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта,
рассчитанного по окончании НИР ($\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб.), а при этапном
внедрении $\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб. при заключении договора.

10. Социальный и научно-технологический эффект _____
_____ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ
(Охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий
труда, совершенствование структуры управления, научно-технических
направлений, специальные направления и т.д.)

От ВУЗа
Руководитель НИР
_____ В.Ю. ФРОЛОВ
Исполнители НИР
_____ К.П. РЫТОВ

От предприятия
Директор
_____ А.А. ДИСКУН

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2813791

Смеситель кормов

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Фролов Владимир Юрьевич (RU), Рытов Кирилл Петрович (RU)*

Заявка № 2023115557

Приоритет изобретения 13 июня 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 16 февраля 2024 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 13 июня 2043 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2805955

Смеситель кормов

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Фролов Владимир Юрьевич (RU), Рытов Кирилл Петрович (RU)*

Заявка № 2023102725

Приоритет изобретения 06 февраля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 24 октября 2023 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 06 февраля 2043 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





За участие в XXIII Агропромышленной
выставке-ярмарке «Золотая Нива»

НАГРАЖДАЕТСЯ

Рытов Кирилл Петрович

Министр сельского хозяйства и
перерабатывающей промышленности
Краснодарского края

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Дерека Ф. И.', is written over a light orange background.

Дерека Ф. И.

Краснодарский край, г. Усть-Лабинск
2023 г.



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БашГАУ

СЕРТИФИКАТ

выдан

Рытову Кириллу Петровичу
обучающемуся
ФТБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И.П. Трубилина

участнику III этапа Всероссийского конкурса на лучшую
научную работу среди студентов, аспирантов и молодых
ученых аграрных образовательных и научных
организаций России в 2024 году
по номинации «Машины и оборудование для АПК»



Проректор
по научной и инновационной деятельности
И. В. Чудов

г. Уфа, 16-17 мая 2024 г.