

Рукопись

УТОЛИН Владимир Валентинович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
КОРМОВ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ КРАХМАЛОПАТОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность: 05.20.01 – Технология и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Мичуринск-Наукоград РФ, 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный консультант: **Ульянов Вячеслав Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАТУ, кафедра «Технические системы в АПК», заведующий

Официальные оппоненты: **Глобин Андрей Николаевич**, доктор технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, кафедра «Технологии и средства механизации АПК», профессор

Купреенко Алексей Иванович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, инженерно-технологический институт, директор, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств

Саенко Юрий Васильевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, кафедра «Машины и оборудование в агробизнесе», профессор

Ведущая организация: Институт механизации животноводства – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита состоится 8 сентября 2022 г. в 10 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760 Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 9-44-12, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Николай Владимирович Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. При переработке кукурузы на крахмал в качестве побочных продуктов получают пелеву, дробленое зерно, мезгу, экстракт и жмых, образуемый в результате отжима масла из зародыша. Данные продукты широко применяются как компоненты корма в рационе сельскохозяйственных животных. Благодаря своему составу жмых, пелера и дробленое зерно наиболее востребованы производителями сельскохозяйственной продукции.

Из-за низкой концентрации сухих веществ жидкий кукурузный экстракт практически не востребован в кормопроизводстве. При сбросе в окружающую среду кукурузный экстракт создаёт большую экологическую проблему, так как является биологически активным.

Переработчики кукурузы вынуждены идти на дополнительные затраты и сгущать экстракт на вакуумных выпарных установках для сокращения его объема. Сгущенный кукурузный экстракт представляет собой тягучую массу – пасту влажностью 55...60%. Он обладает высокой кормовой ценностью и содержит токоферолы, тиамин, рибофлавин, пиридоксин, биотин, до 50% белка, а также углеводы и органические кислоты. Однако сгущенный кукурузный экстракт является кислым продуктом, показатель pH составляет 4,2...4,4.

Использование кислых кормов в рационе кормления крупного рогатого скота приводит к понижению pH содержимого рубца, а так как через него проходит до 80 % органических веществ, то разрушаются биохимические системы рубца. Это приводит к снижению переваримости кормов и продуктивности животных. Также из-за низких значений pH в рубце желудка замедляется моторика всех его отделов, происходит застой кормовой массы в преджелудках. Кислотная среда рубца при разрушенной микрофлоре приводит к заболеванию животного.

В настоящее время побочные продукты крахмалопаточного производства используют для приготовления как сырых, так и сухих кормов.

Из-за сезонного спроса на побочные продукты крахмального производства их следует сушить. Приготовление сухих кукурузных, тем более гранулированных кормов, требует сложного и дорогостоящего оборудования, а также значительных затрат энергии на сушку. Это приводит к повышению себестоимости продукции.

Наиболее рациональным предложением является приготовление влажных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства при условии удаления потребителя от поставщика в районе не более двухсот километров. Такие корма обладают достаточно высокой кормовой ценностью при низкой себестоимости их приготовления.

Современная технология использования побочных продуктов перерабатывающих предприятий в кормопроизводстве должна обеспечивать глубокую переработку пищевого сырья, снижение себестоимости производства и повышать его экологическую безопасность.

Научная проблема. Побочные продукты крахмалопаточного производства обладают большой кормовой ценностью, но высокая влажность и кислотность при существующих технологических приемах и технических средствах не позволяют их эффективно использовать в приготовлении кукурузных кормов, соответствующих зоотехническим требованиям, а утилизация ведет к безвозвратным потерям с нанесением вреда окружающей среде.

Научная гипотеза. Повышение эффективности приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства путем реализации технологических и технических решений, обеспечивающих изменение химического состава и кислотности компонентов, ведущих к повышению качества получаемых кормовых смесей.

Степень разработанности темы. Большой научный вклад в области приготовления кормов сельскохозяйственным животным внесли: И.А. Боровиков, С.А. Булавина, С.М. Ведищев, А.А. Власов, А.Н. Глобин, И.В. Горюшинский, А.М. Григорьев, В.В. Гунько, В.П. Дегтярев, В.А. Евстратов, А.И. Завражнов, Ю.М. Исаев, В.Г. Коба, В.В. Коновалов, Л.П. Кормановский, Г.М. Кукта, А.И. Куприенко, В.К. Курбанов, В.И. Курдюмов, Ю.И. Макарова, С.Н. Маланичев, В.К. Мартынов, С.В. Мельников, В.Ф. Некрашевич, Ф.К. Новобранцев, О.Б. Пошевкин, Е.И. Резник, П.В. Роцин, М.С. Рунчев, Ю.В. Саенко, А.Д. Селезнев, Ф.Г. Стукалкин, В.М. Сыроватка, С.К. Филатов, Ф. Стренк, S. Aiba, J. Anchal, J. M. Matthew, J. G. Benjamin, K.C. Behnke, J. Coulson, H. Kramers, G. M. Baars, W.H. Knoll, F.N. Valentin и другие как отечественные, так и зарубежные ученые.

Решению проблемы использования побочных продуктов крахмалопаточного производства в кормопроизводстве, механизации приготовления из них кормов посвящены работы: Н.Р. Андреева, П.И. Афанасьев, Е.Е. Гришкова, М.А. Конькова, Е.Г. Кравчика, В. Л. Кудряшова, Н. Д. Лукина, М.В. Орешкиной, А.А. Полункина, О.И. Радина, В.С. Расторгуева, В.Н. Романенко, Н.Н. Селезневой, Н.Н. Сорокиной, В.М. Ульянова, Н.И. Филиповой и других.

При большом количестве выполненных научных исследований по проблеме приготовления кормов сельскохозяйственным животным остается ряд задач, связанных с повышением эффективности использования побочных продуктов крахмалопаточного производства и снижения экологического ущерба от их сброса в окружающую среду.

Данная работа выполнена в соответствии с планами: НИР ФГБОУ ВО РГАТУ за 2011...2015 годы по теме «Совершенствование энергосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ государственной регистрации 01201174434) и НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016...2020 годы по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» (№ государственной регистрации АААА-А16-116060910025-5).

Исследования по данной тематике также проводились в «Лаборатории инновационных энерго-ресурсосберегающих технологий и средств механизации в растениеводстве и животноводстве» ФГБОУ ВО РГАТУ по заданию Минсельхоза РФ за счет средств федерального бюджета в 2008 году по теме № 3 «Разработка технологии приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства», в 2009 году – по теме № 188 «Разработка и изготовление энергосберегающего смесителя технологической линии приготовления кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства», в рамках хозяйственного договора № 24-2003 с ОАО «Ибретькрахмалпатока» (Рязанская область) в 2003 году на тему «Разработка технологии получения сырых кормов».

Цель исследований. Повышение эффективности использования побочных продуктов крахмалопаточных предприятий в кормопроизводстве путем разработки и обоснования технологии и средств механизации приготовления кормов с предварительной нейтрализацией кислотности кукурузного экстракта.

Задачи исследований.

1 – проанализировать и обобщить результаты выполненных исследований по технологиям и средствам механизации приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства, и выявить перспективное направление их совершенствования;

2 – исследовать физико-механические и теплофизические свойства побочных продуктов крахмалопаточного производства;

3 – разработать и обосновать теоретически и экспериментально технологию приготовления корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства с предварительной нейтрализацией сгущенного кукурузного экстракта;

4 – разработать конструктивно-технологические схемы машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;

5 – теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-режимные параметры разработанных машин и выявить оптимально-рациональные режимы их работы;

6 – осуществить проверку разработанной технологии и машин в производственных условиях и определить экономическую эффективность их использования.

Объект исследований. Технология и рабочие процессы технических средств приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Предмет исследования. Закономерности технологических процессов нейтрализации сгущенного кукурузного экстракта и смесеобразования при приготовлении кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Научная новизна диссертационной работы:

– показатели физико-механических и теплофизических характеристик побочных продуктов крахмалопаточного производства;

– способ, реализованный в технологии приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;

– конструктивно-технологические схемы машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;

– теоретические и экспериментальные зависимости по обоснованию режимов и параметров машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Новизна технических решений технологии и машин приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства подтверждена 8 патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что: расширены и уточнены показатели физико-механических и теплофизических свойств кукурузного экстракта, мезги и их смеси; разработана структурная модель функционирования технологии приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;

предложены математические зависимости, позволяющие определить режимы технологии и параметры разработанных машин для нейтрализации кислотности кукурузного экстракта, его дозирования и смешивания с мезгой при приготовлении кормов соответствующих зоотехническим требованиям.

Практическая значимость работы заключается в том, что по результатам исследования разработаны технология приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства, средства механизации и техническая документация на изготовление, представлены рекомендации по приготовлению кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства. Полученные результаты диссертационного исследования позволяют проектным и конструкторским предприятиям разрабатывать машины и оборудование для приготовления кормов, а кукурузоперерабатывающим предприятиям повысить эффективность использования и утилизации побочных продуктов без экологического ущерба окружающей среде.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены на основании законов физики, математики, теплотехники, гидравлики, теоретической механики, сопротивления материалов, теории планирования экспериментов и математической статистики. Для проведения экспериментальных исследований были использованы общеизвестные методики и разработанные на их основе – частные. Измерение и контроль исследуемых параметров осуществляли современными механическими и электронными приборами и установками. Расчеты и обработка результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнялись с помощью ЭВМ и пакета прикладных программ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- структурно-функциональная модель технологии приготовления корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства;
- результаты теоретическо-экспериментального обоснования технологии приготовления корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства с предварительной нейтрализацией кислотности сгущенного кукурузного экстракта;
- показатели физико-механических и теплофизических характеристик побочных продуктов крахмалопаточного производства;
- конструктивно-технологические схемы машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;
- теоретические положения по обоснованию конструктивно-режимных параметров разработанных машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства
- оптимальные параметры разработанных машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства, режимы их работы;
- результаты производственной проверки разработанных технологии и машин приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Вклад автора. Научные исследования выполнены автором лично или с непосредственным участием, что включало: анализ существующих технологий и средств механизации приготовления кормов, постановку проблемы, цели и задач исследований, выдвижение научной гипотезы, теоретическое, экспериментальное обоснование режимов предложенной технологии и конструктивно-технологических схем машин для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного

производства, разработку и изготовление лабораторных макетов и производственных образцов машин, проведение лабораторных и производственных исследований, обработку полученных результатов и выявление оптимальных конструктивно-режимных параметров разработанных машин, технико-экономическую оценку внедрения технологии и машин в производство, публикация научных статей.

Реализация результатов исследований. Технология приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства с предварительной нейтрализацией кислотности сгущенного кукурузного экстракта и технические средства для ее реализации прошли испытание и внедрены ОАО «Ибретькрахмалпатока» (Рязанская область).

Техническая документация на разработанный нейтрализатор кислотности сгущенного кукурузного экстракта передана ЗАО «Газтехпром» Рязанской области. Данной организацией было изготовлено два нейтрализатора, которые внедрены в производственную линию приготовления кормов ОАО «Ибретькрахмалпатока».

Разработанный спиральный смеситель был испытан и внедрен в технологическую линию гранулированных кукурузных кормов в ООО «Амкор» (Рязанская область).

Результаты исследований, технология и технические средства для приготовления кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства приняты к внедрению ОАО ХОБОТОВСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «КРАХМАЛОПРОДУКТ» и ВСЕРОСИЙСКИМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ИНСТИТУТОМ КРАХМАЛОПРОДУКТОВ.

Влажный кукурузный корм, приготовленный из побочных продуктов крахмалопаточного производства по разработанной технологии, используется при кормлении сельскохозяйственных животных в хозяйствах Московской, Рязанской и Владимирской областей: МУПС «Ибретьское», ООО «Константиново», ООО «Мосолово», ООО «Пробуждение», ООО «Искра», ООО «СПК «Мурминское», СПК «Нива», СПК «Окский», ООО «Инякино», ООО СПК «Калинина», ООО «Желудёво», ООО «Шиловское», ООО «Шиловомолоко», СПК «Лесной», К-з «Им. Ленина», ООО «Новый путь», ООО «Новая деревня», ООО «Рассвет», ЗАО «Малино», ООО «Агроиппекс», ООО «Сельхозпродукты», ЗАО «ВМК – Астапово», СПК «Дмитриевы горы», СПК «Илькино», ООО «Бельки».

Результаты исследования по данной тематике вошли в отчеты лаборатории «Инновационных энерго-ресурсосберегающих технологий и средств механизации в растениеводстве и животноводстве» ФГБОУ ВО РГАТУ выполняемых тем по заданию Минсельхоза РФ за счет средств федерального бюджета в 2008 и 2009 годах.

Полученные результаты исследований рассмотрены Министерством сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области и рекомендованы к внедрению в хозяйствах и крахмалопаточных предприятиях АПК Российской Федерации.

Рекомендации по приготовлению кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства, разработанные по результатам исследований, используются в учебном процессе инженерных и технологических факультетов ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием математического моделирования, применением современных методик, сертифицированного оборудования и статистической обработки экспериментальных данных в программах ПЭВМ: Microsoft Excel 2007, Statistica 6.0, Wolfram Mathematica 9, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на национальных, всероссийских и международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО РГАТУ (г. Рязань, 2003...2021); ГНУ ВНИИ крахмалопродуктов Россельхозакадемии (г. Коренёво, 2010 г.); Мордовского ГУ (г. Саранск, 2012 г.); Орловского ГАУ (г. Орел, 2012 г.); Алтайского ГАУ (г. Барнаул 2014–2015 г.); Мичуринского ГАУ (г. Мичуринск, 2012 г.), Белгородского ГАУ (г. Белгород, 2015 г.); Пензенской СХА (г. Пенза, 2015); INTERAGROMASH-2019, Донской ГТУ (Ростов-на-Дону, 2019 г); «Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, человеческие ресурсы» (FIES 2019), (Казань, 2019 г); ИМЖ - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва 2021г.)

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 62 печатных работах, в том числе 13 – в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 3 – в индексируемых международными БД Web of Science и Scopus, получено 8 патентов РФ на изобретение и полезную модель. Общий объем публикаций по теме диссертационной работы составил 22.8 п. л., соискателю из них принадлежит 18.2 п. л..

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы включает в себя введение, пять глав, заключение, список литературы из 235 источников и приложения. Работа изложена на 312 страницах основного текста, имеет 152 рисунка и 18 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, представлены научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

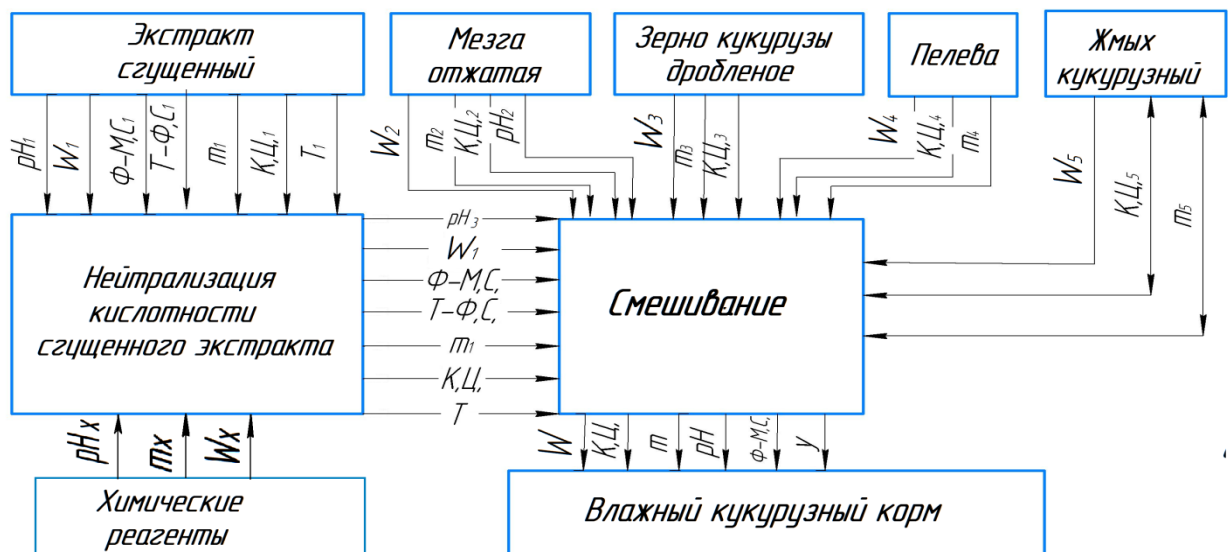
В первой главе «Состояние проблемы использования побочных продуктов крахмалопаточных предприятий. Цель и задачи исследований» проведен анализ научно-практической информации по исследуемой проблеме применения побочных продуктов крахмалопаточного производства, отображена область их применения в народном хозяйстве страны, рассмотрены современные технологии и средства механизации для приготовления кормов сельскохозяйственным животным, сформулирована цель и задачи работы.

Побочные продукты крахмалопаточного производства: экстракт, мезга, пелева, зерновые отходы в виде дробленого зерна кукурузы и жмых кукурузный обладают высокими кормовыми качествами. При этом некондиционное дробленое зерно кукурузы и жмых востребованы ввиду того, что эти кормовые компоненты длительного хранения. Однако в количественном отношении их доля мала по сравнению с мезгой и кукурузным экстрактом. Кроме того, кукурузный экстракт обладает существенным недостатком – высокой его кислотностью.

В настоящее время кукурузный экстракт сбрасывается в отстойники, а затем в окружающую среду, нанося ей существенный экологический ущерб. Часть экстракта сгущают, а на некоторых предприятиях он высушивается и используется как белковый компонент корма, при этом количество кислоты в нем не уменьшается. Показатель кислотности сгущенного кукурузного экстракта составляет 4,2...4,4 рН, что существенно ограничивает его использование в качестве корма сельскохозяйственным животным.

Поэтому необходима эффективная технология приготовления корма для сельскохозяйственных животных и средства механизации для её осуществления. Технология должна обеспечивать использования всего комплекса побочных продуктов крахмалопаточного производства, при этом кормовая смесь должна иметь высокую питательную ценность и отвечать зоотехническим требованиям, предъявляемым к кормам.

Структурная модель функционирования технологической линии приготовления корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства представлена на рисунке 1. Она включает в себя два основных процесса: нейтрализацию кислотности сгущенного кукурузного экстракта и смешивание побочных продуктов крахмалопаточного производства. Параметрами процесса нейтрализации являются: масса компонентов смеси, химических реагентов и их число, теплофизические свойства сгущенного кукурузного экстракта



pH_1 – кислотность экстракта, pH_2 – кислотность мезги, pH_x – кислотность хим. реагентов, pH_3 – кислотность экстракта после нейтрализации, pH – кислотность корма; W_1 – влажность экстракта, W_2 – влажность мезги, W_x – влажность хим. реагентов, W – влажность корма; $\Phi\text{-М.С}_1$ – физико-механические свойства экстракта, $\Phi\text{-М.С}_2$ – физико-механические свойства мезги, $\Phi\text{-М.С}_3$ – физико-механические свойства зерна кукурузы дробленого, $\Phi\text{-М.С}$ – физико-механические свойства корма; $T\text{-М.С}_1$ – теплофизические свойства экстракта, $T\text{-М.С}_1$ – теплофизические свойства корма; m_1 – масса экстракта, m_x – масса хим. реагентов, m_2 – масса отжатой мезги, m_3 – масса зерна кукурузы дробленого, m_4 – масса пелеры, m_5 – масса жмыха кукурузного, m – масса корма; $КЦ_1$ – кормовая ценность экстракта, $КЦ_2$ – кормовая ценность мезги, $КЦ_3$ – кормовая ценность зерна кукурузы дробленого, $КЦ_4$ – кормовая ценность пелеры, $КЦ_5$ – кормовая ценность жмыха кукурузного, $КЦ$ – кормовая ценность корма; T_1 – температура экстракта до нейтрализации, T – температура экстракта после нейтрализации, y – степень однородности смеси.

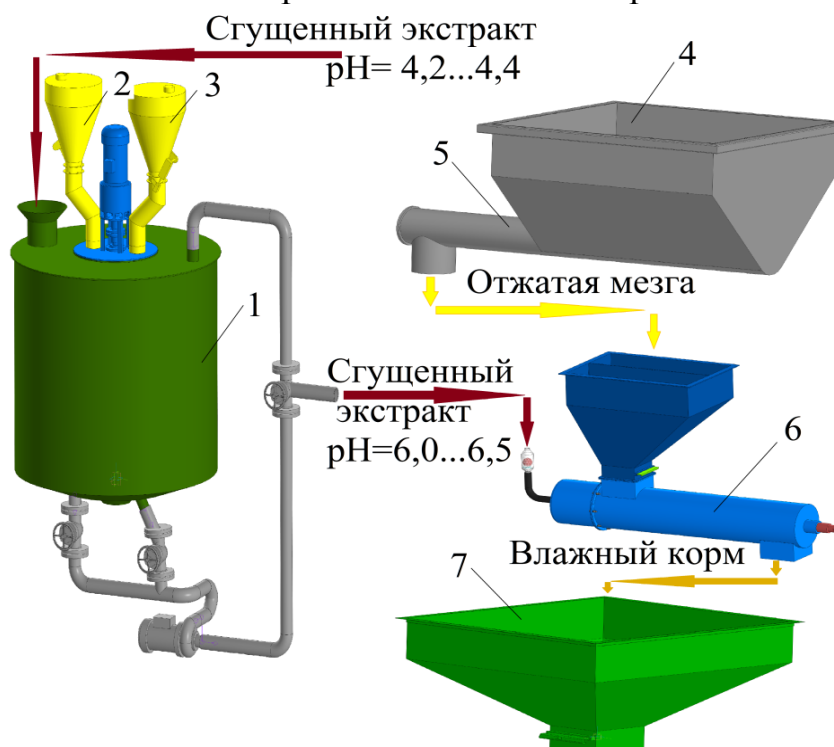
Рисунок 1 – Модель функционирования технологии приготовления влажных кукурузных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

и готового корма (Т-Ф.С), значение рН и температуры (Т). Параметрами процесса смешивания являются физико-механические свойства побочных продуктов (Ф-М.С.) их массовая доля в смеси (m), влажность (W). Качественными и количественными показателями являются, однородность смеси (y) и энергоёмкость процесса.

Предложенная модель функционирования (рис. 1) позволяет решить проблему эффективного использования побочных продуктов в качестве кормов в животноводстве и тем самым обеспечить их утилизацию без нанесения вреда окружающей среде.

Во второй главе «Теоретическое обоснование технологии и технических средств приготовления влажных кукурузных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства» представлены технология и конструктивно-технологические схемы машин для приготовления влажного корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства. Выявлены закономерности реализации технологии и обоснованы теоретические зависимости для определения параметров разрабатываемых средств механизации для приготовления кормов.

Технология приготовления влажного корма (патент РФ № 2336722) предусматривает выполнение операций: нейтрализация кислотности сгущенного кукурузного экстракта двумя реагентами – оксидом кальция и гидроксидом натрия; подача нейтрализованного сгущенного экстракта (W=58%) в смеситель; накопление и дозированная подача отжатой кукурузной мезги (W=63...65%) в смеситель; смешивание нейтрализованного экстракта и отжатой кукурузной мезги в



1 – нейтрализатор кислотности экстракта; 2, 3 – бункеры-дозаторы реагентов; 4 – бункер-дозатор отжатой мезги; 5 – транспортёр мезги; 6 – смеситель; 7 – бункер накопитель корма.

Рисунок 2 – Технологическая схема приготовления влажного корма.

пропорции (1:6,4) соответственно; накопление приготовленного сырого корма (рис. 2).

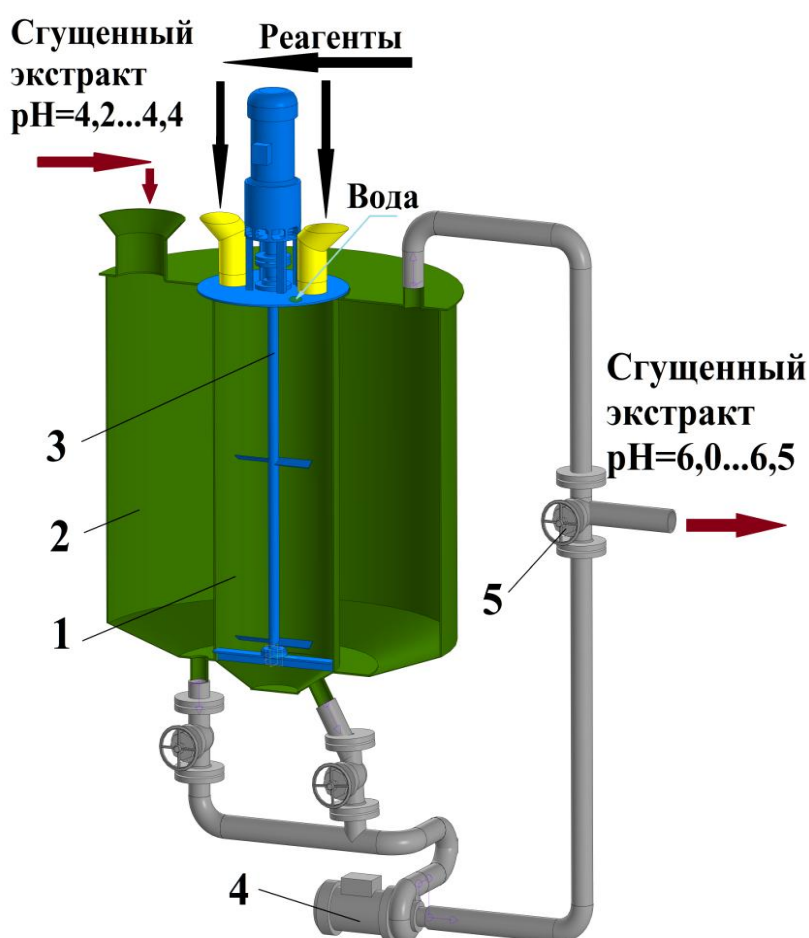
Кислая среда сгущенного кукурузного экстракта связана с высоким содержанием молочной и фитиновой кислот, 20-25% и 7,5% в пересчете на сухое вещество. В результате проведенных исследований установлено, что для достижения показателя рН = 6,0...6,3 на один килограмм сгущенного экстракта необходимо 0,019 кг оксида кальция (CaO) и 0,012 г гидроксида натрия (NaOH). При условии потребления коровой

данного сырого корма до 30 кг/сут. суточное потребление кальция (Ca_{2+}) составит – 64 г, а натрия в перерасчете на хлорид натрия (NaCl) – 79 г, что не превышает нормы.

Конструктивно-технологическая схема нейтрализатора кислотности сгущенного кукурузного экстракта. Повышение температуры сгущенного кукурузного экстракта приводит к уменьшению значений его вязкости и липкости. В диапазоне температур от 40 до 55°C значение липкости сгущенного кукурузного экстракта достигает минимума, при этом кинематическая и динамическая вязкости значительно снижаются. Поэтому для проведения нейтрализации кислотности рациональным решением является нагревание экстракта до указанной температуры.

Предложенная конструкция нейтрализатора кислотности позволяет использовать тепловую энергию, выделяемую за счет реакции при приготовлении водного раствора химических реагентов для нагревания сгущенного кукурузного экстракта (рис. 3).

Нейтрализатор (патент РФ № 2396838) представляет собой теплообменный аппарат, содержащий две ёмкости цилиндрической формы, установленные соосно с зазором одна в другой. Внутренняя ёмкость 1 предназначена для приготовления водного раствора химических реагентов. Пространство между стенками внешней 2 и внутренней 1 ёмкостями заполняется сгущенным экстрактом. Внутри ёмкости 1 установлен вал с лопастями 3.



Для ввода раствора реагентов в экстракт и их перемешивания служит насос 4, который соединяется с ёмкостями 1 и 2 на входе и с ёмкостью 1 на выходе. Для обеспечения циркуляции и выгрузки сгущенного экстракта на трубопроводе установлен кран 5.

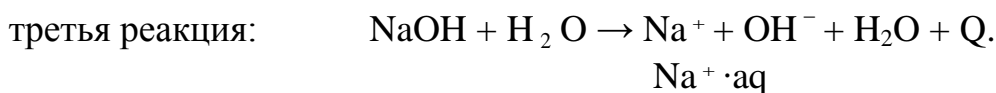
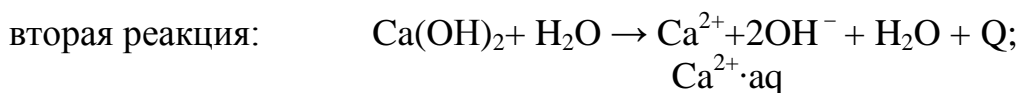
Принцип работы нейтрализатора следующий:

- во внешнюю ёмкость загружают сгущенный экстракт;
- внутреннюю ёмкость заполняют водой и подают дозированно реагенты – оксид кальция и гидроксид натрия;
- вращением вала с лопастями производят равномерное распределение реагентов в емкости и их перемешивание;

Рисунок 3 – Схема нейтрализатора.

– во внутренней емкости нейтрализатора при приготовлении водного раствора реагентов протекают три химических реакции;

первая реакция: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Q}$;



В результате экзотермических химических реакций при приготовлении водного раствора реагентов во внутренней емкости нейтрализатора выделяется теплоты 136690 кДж, что позволяет нагревать сгущенный кукурузный экстракт, находящийся во внешней емкости, на 13...15°C. Это позволяет сократить время и энергетические затраты, на реакцию нейтрализации экстракта. Насос-эмульсатор одновременно забирает экстракт из внешней ёмкости и водный раствор реагентов из внутренней, смешивает их и перекачивает во внешнюю ёмкость. При смешивании водного раствора реагентов со сгущенным кукурузным экстрактом происходит нейтрализация органических кислот, а в результате реакции также выделяется теплота. После нейтрализации сгущенный кукурузный экстракт подается на смешивание с мезгой.

Теоретическое обоснование процесса нагревания сгущенного кукурузного экстракта в нейтрализаторе кислотности. При обосновании процесса нагревания сгущенного кукурузного экстракта было составлено уравнение теплопроводности.

Имеем $u(x, y, z, t)$ – температуру среды в точке (x, y, z) в момент времени t . Считая среду изотропной, обозначим через $\rho(x, y, z)$, $c(x, y, z)$ и $k(x, y, z)$ соответственно её плотность, удельную теплоемкость и коэффициент теплопроводности в точке (x, y, z) , а через $F(x, y, z, t)$ интенсивность источников тепла в точке (x, y, z) в момент времени t . На поверхности тела происходит теплообмен с окружающей средой, температура u_1 которой известна.

Процесс теплообмена достаточно сложный, но для описания его может быть принят закон Ньютона, согласно которому количество тепла q , передаваемое в единицу времени с единицы площади поверхности в окружающую среду, пропорционально разности температур поверхности тела и окружающей среды u_1 :

$$q = h(u - u_1), \quad (1)$$

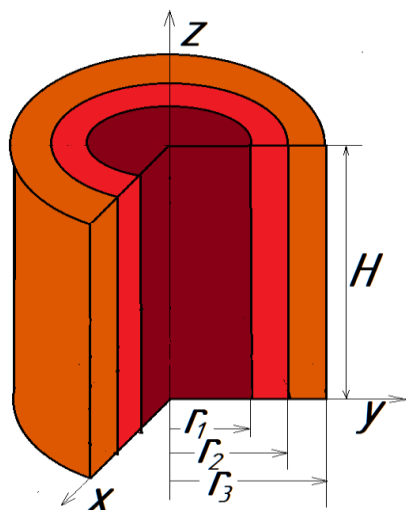


Рисунок 4 – Схема к расчету.

где h – коэффициент теплообмена.

Коэффициент теплообмена h является постоянным, не зависящим от температуры и одинаковым для всей поверхности тела.

Согласно закону сохранения энергии, это количество теплоты должно быть равным передаваемому через единицу площади поверхности за единицу времени вследствие внутренней теплопроводности. Это приводит к следующему граничному условию:

$$\left[k \frac{\partial u}{\partial n} + h(u - u_1) \right] \Big|_S = 0. \quad (2)$$

Таким образом, в простейшей постановке задача о распределении тепла в изотропном твердом теле ставится так: найти решение уравнения теплопроводности, удовлетворяющее начальному условию.

Камера для нейтрализации кислотности сгущенного кукурузного экстракта представляет собой цилиндрическую трубу. Цилиндрическая труба конечных размеров $r_1 \leq r \leq r_3$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$ составлена из двух концентричных $r_1 \leq r \leq r_2$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$ и $r_2 \leq r \leq r_3$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$, изготовленных из различных материалов (рис. 4).

Необходимо найти температуру составной трубы, если на внутренней поверхности происходит теплообмен по закону Ньютона с окружающей средой, температура u_1 которой известна, внешняя поверхность и оба торца теплоизолированы, а начальная температура равна $u_0(r, z, t)$.

Математически задача сводится к нахождению функции

$$u = u(r, z, t) = \begin{cases} u_1(r, z, t), & r_1 \leq r \leq r_2, \\ u_2(r, z, t), & r_2 \leq r \leq r_3, \end{cases} \quad (3)$$

причем каждая из u_j ($j=1,2$) удовлетворяет своему уравнению теплопроводности.

После преобразования получена связанная с прежней функция, требующая решения

$$v_1(r, z, t), \quad r_1 \leq r < r_2 \quad (4)$$

$$v = v(r, z, t) = \begin{cases} v_1(r, z, t), & r_1 \leq r < r_2 \\ v_2(r, z, t), & r_2 \leq r \leq r_3 \end{cases} \quad (5)$$

В результате решения задачи методом разделения переменных, получено выражение для определения температуры в заданной точке в определённое время

$$u(r, z, t) = u_1 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\delta_{on} - \frac{ru_1 h_1 R_{1on}(r_1)}{\sigma_n^{(o)} \|R_{on}\|^2} \right] e^{-\sigma_n^{(o)} t} R_{on}(r) + \\ + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \delta_{mn} e^{-\sigma_n^{(o)} t} R_{mn}(r) \right] \cos\left(\frac{\pi m z}{H}\right)$$

$$\text{где } \delta_{mn} = \frac{2}{H \|R_{mn}\|^2} \cdot \int_{r_1}^{r_3} \int_0^H r \mu(r) R_{mn}(r) u_0(r, z) \cos\left(\frac{\pi m z}{H}\right) dz dr \quad (6)$$

Дальнейший расчёт коэффициентов формулы (6) проводили исходя из численных значений плотности, коэффициента теплопроводности, теплоёмкости и размеров лабораторной установки нейтрализатора кислотности.

В результате решения выражения (6) при принятых значениях для используемого в лабораторных исследованиях процесса нейтрализатора высоты $H = 0,4$ м, радиусов внутреннего цилиндра $r_1 = 0,04$ м и внешнего $r_2 = r_1 + \delta$, учитывая, что толщина его стенки мала по сравнению с другими размерами и оставляя от ряда три первых слагаемых, получаем приближенную формулу для температуры в заданной точке в зависимости от толщины стенки внутреннего цилиндра (δ) и времени нагревания (t).

$$u(\delta, t) = 70 + (70,6 + 3,3\delta)e^{-(0,0177 - 0,001\delta)t} - (64,4 + 7,1\delta)e^{-(0,0348 - 0,0016\delta)t} \quad (7)$$

Смешивание водного раствора реагентов со сгущенным кукурузным экстрактом предлагается осуществлять непосредственно в насосе при их перекачивании. Для обеспечения равномерного смешивания необходима дозированная подача водного раствора реагентов и сгущенного экстракта в насос, то есть должно выполняться условие:

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \quad (8)$$

где V_1 – объём сгущенного экстракта; V_2 – объём водного раствора реагентов; d_1 и d_2 – диаметры жиклеров, соответственно, установленных в трубопроводах сгущенного экстракта и водного раствора реагентов перед насосом-эмульсатором.

Конструктивно-технологическая схема шнеко-лопастного смесителя (патент РФ № 2454273) представлена на рисунке 5.

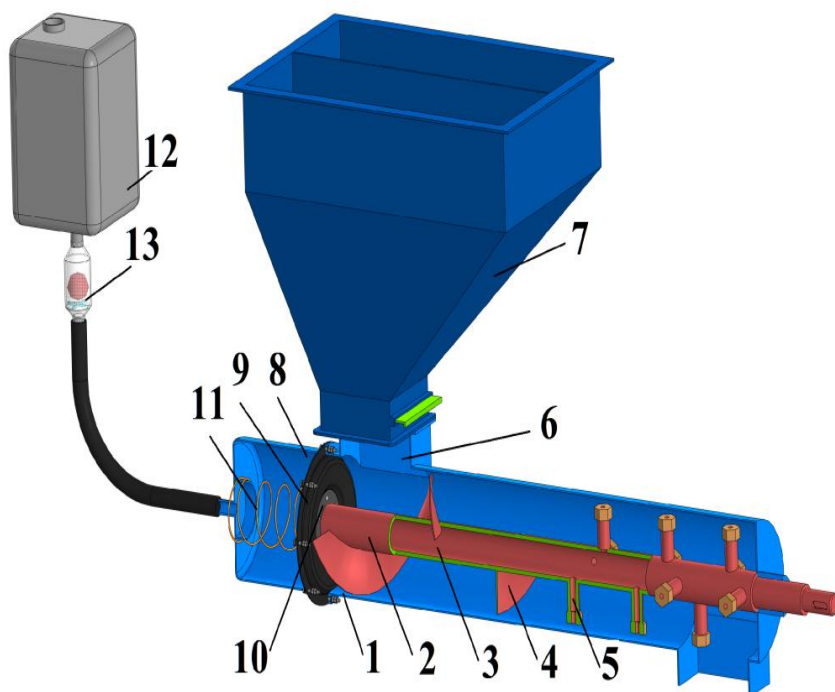


Рисунок 5 – Схема разработанного смесителя.

Для приёма отжатой мезги корпус 1 смесителя имеет входную горловину 6, на которую установлен приёмный бункер 7. В торце со стороны входной горловины смеситель имеет мембранный насос для подачи нейтрализованного сгущенного экстракта, содержащий камеру 8 с мембраной 9, которая имеет опору 10 для крепления вала шнека смесителя. Внутри камеры 8 установлена пружина 11, один

В корпусе 1 установлен основной рабочий орган: шнек-смеситель 2, содержащий полый вал 3, на котором последовательно расположены шнековый конвейер 4 и полые лопасти 5, установленные по винтовой линии. Вал 3 шнека-смесителя 2 установлен таким образом, что он совершает одновременно вращательные движения, передаваемые от привода (не показан) и возвратно поступательные в направлении осевой линии.

конец которой закреплен на неподвижном корпусе, а второй на опоре 10. Камера 8 соединена с емкостью 12 для временного хранения нейтрализованного сгущенного экстракта трубопроводом с обратным клапаном 13.

При работе смесителя отжатая мезга через приёмный бункер и входную горловину подается к рабочему органу и далее транспортируется в зону смешивания, при этом шнек-смеситель – стремится переместиться, преодолевая усилие пружины, по направлению к камере. При выгибании мембраны уменьшается объём в камере, что ведет к повышению давления. Клапан закрывается, сгущенный экстракт через полости вала и лопастей подается в зону смешивания. Корпус смесителя при работе заполняется отжатой мезгой примерно на 50%. При выходе конца шнековой навивки из транспортируемой порции мезги сила воздействия на шнек-смеситель уменьшается, и за счет воздействия пружины он перемещается по направлению к выгрузной горловине. При этом в камере происходит понижение давления, клапан открывается. В камеру из емкости поступает сгущенный экстракт. За один оборот шнек-смеситель совершает одно колебательное движение. Смешивание с одновременным перемещением отжатой мезги и нейтрализованного сгущенного экстракта осуществляется за счет лопастей.

Исходя из конструкции смесителя, его производительность можно определить как

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (9)$$

где Q_1, Q_2 – подачи соответственно отжатой мезги и сгущенного экстракта, кг/с.

Известно выражение для определения производительности шнековых машин

$$Q_1 = v_{cp} \psi \varphi (D_n^2 - d_g^2) \gamma_1, \text{ кг/с} \quad (10)$$

v_{cp} – средняя осевая скорость перемещения массы, м/с; ψ – поправочный коэффициент; D_n – наружный диаметр шнека, м; d_g – диаметр внутренней трубы шнека, м; φ – коэффициент заполнения; γ_1 – объемная масса отжатой мезги, кг/м³.

Производительность смесителя по экстракту будет

$$Q_2 = V n \gamma_2, \text{ кг/с} \quad (11)$$

где V – объем сгущенного экстракта, подаваемого за один оборот шнека-смесителя, м³; n – частота вращения шнека, с⁻¹; γ_2 – плотность сгущенного экстракта, кг/м³.

Подставим в выражение (9) в выражение (10) и (11), получим:

$$Q = v_{cp} \psi \varphi (D_n^2 - d_g^2) \gamma_1 + V n \gamma_2, \text{ кг/с} \quad (12)$$

Для определения средней осевой скорости перемещения сырого корма (v_{cp}), рассмотрим движение частицы по шнековой навивке смесителя. На рисунке 6

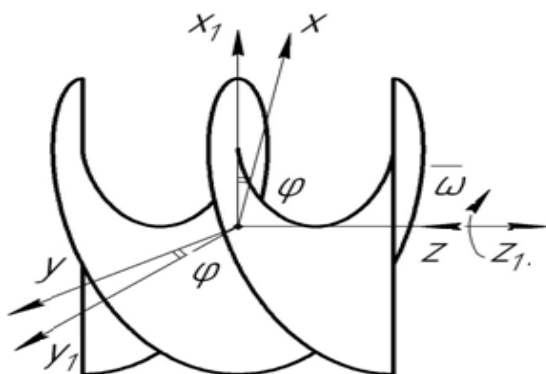


Рисунок 6 – Поверхность геликоида.

представлена поверхность геликоида с подвижной и неподвижной системами координат.

Уравнения прямого геликоида в параметрической форме имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(u, v) = u \cdot \cos v \\ y &= y(u, v) = u \cdot \sin v \\ z &= z(u, v) = b \cdot v \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Начальные условия для определения положения частицы перемещаемой шнеком:

$$\ddot{u} = F\left(t, u, v, \omega; \dot{u}, \dot{v}, \dot{\omega}\right); \quad \ddot{v} = G\left(t, u, v, \omega; \dot{u}, \dot{v}, \dot{\omega}\right); \quad \ddot{\omega} = H\left(t, u, v, \omega; \dot{u}, \dot{v}, \dot{\omega}\right).$$

Получены дифференциальные уравнения:

$$u\left(\frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{\mu}{v_2} \cdot b\dot{v}\right)\ddot{v} + \left(\frac{\mu}{v_2} \cdot u\dot{v} - \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}\right)\left(b\ddot{v} + \ddot{\omega}\right) = \left(\frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{\mu}{v_2} \cdot b\dot{v}\right) \cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega\dot{u} - 2\dot{u}\dot{v}\right], \quad (14)$$

$$\left(\frac{u^2}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{\mu}{v_2} \cdot bu\dot{v} + \frac{\mu}{v_2} \cdot bu\dot{v} - \frac{b^2}{\sqrt{u^2+b^2}}\right)\ddot{v} + \left(\frac{\mu}{v_2} u\dot{v} + \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}\right)\ddot{\omega} = \quad (15)$$

$$= \left(\frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{\mu}{v_2} \cdot b\dot{v}\right) \cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega\dot{u} - 2\dot{u}\dot{v}\right],$$

$$\sqrt{u^2+b^2} \cdot \ddot{v} + \left(\frac{\mu}{v_2} \cdot u\dot{v} - \frac{b}{\sqrt{u^2+b^2}}\right)\ddot{\omega} = \left(\frac{u}{\sqrt{u^2+b^2}} - \frac{\mu}{v_2} \cdot b\dot{v}\right) \cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega\dot{u} - 2\dot{u}\dot{v}\right]. \quad (16)$$

Решив уравнения (14...16), получили выражение положения частицы относительно неподвижной системы координат в момент времени t , которое имеет вид:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t) &= x_1(t) = x(t)\cos\omega t + y(t)\sin\omega t = u(t)\cos\nu(t)\cos\omega t + u(t)\sin\nu(t)\sin\omega t = \\ &= u(t) \cdot \cos[\nu(t) - \omega t]; \\ \tilde{y}(t) &= y_1(t) = -x(t)\sin\omega t + y(t)\cos\omega t = -u(t)\cos\nu(t)\sin\omega t + u(t)\sin\nu(t)\cos\omega t = \\ &= u(t) \cdot \sin[\nu(t) - \omega t]; \\ \tilde{z}(t) &= z(t) + \omega(t) = b \cdot \nu(t) + \omega(t). \end{aligned} \quad (17)$$

Средняя скорость перемещения частицы – есть производная $z(t)$, определяемая по выражению 17. Она будет иметь вид

$$v_c = (b \cdot \nu(t) + \omega t)' = (b \cdot \nu(t))' + \omega'(t) \quad (18)$$

где $\nu'(t)$ – частота вращения шнека, с^{-1} ; $b=S$ – шаг шнека, м; ω – смещение шнека в процессе движения за счет деформации мембраны, м.

Производная от $\omega(t)$ есть скорость возвратно-поступательных движений шнека

$$\omega'(t) = \left(A \cos(\Omega t + a) + \frac{f}{\Omega}\right)' = -A \sin(\Omega t + a) \cdot \Omega \quad (19)$$

где: A – амплитуда шнека смесителя, мм; Ω – частота колебаний шнека, с^{-1} ; t – время одного оборота шнека, с; a – начальная фаза колебаний, град; f – постоянная вынуждающая сила, H .

В результате исследований было получено выражение для определения скорости перемещения частицы по шнеку, которое имеет вид

$$v_c = S \cdot n - A \sin\left(nt + \arcsin \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}}\right) \cdot n, \text{ м/с} \quad (20)$$

Для определения производительности мембранного насоса сгущенного кукурузного экстракта была рассмотрена следующая схема (рис.7).

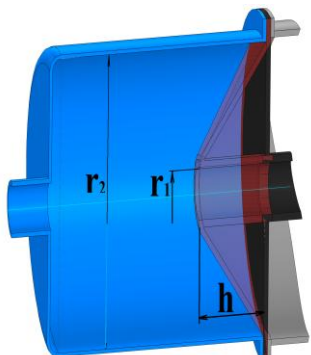


Рисунок 7 – Схема мембранного насоса.

Объем сгущенного экстракта V , вытесняемый за один оборот шнека, характеризуется объемом усеченного конуса V_k , образуемого при прогибе мембраны и объемом V_u , занимаемым цапфой.

Имеем

$$V_k = \frac{1}{3} \pi A (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2), \text{ м}^3 \quad (21)$$

$$V_u = \pi r_1^2 A, \text{ м}^3 \quad (22)$$

где r_1, r_2 – соответственно радиус камеры подающего устройства экстракта и цапфы, м; h – высота усеченного конуса, $h = A$, м.

Тогда объем сгущенного экстракта, вытесняемый за один цикл, найдем как разность объемов занимаемых усеченным конусом и цапфой.

$$V = V_k - V_u = \pi A \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right), \text{ м}^3 \quad (23)$$

Производительность подающего устройства сгущенного кукурузного экстракта будет

$$Q_2 = \pi A n \gamma_2 \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right) \quad (24)$$

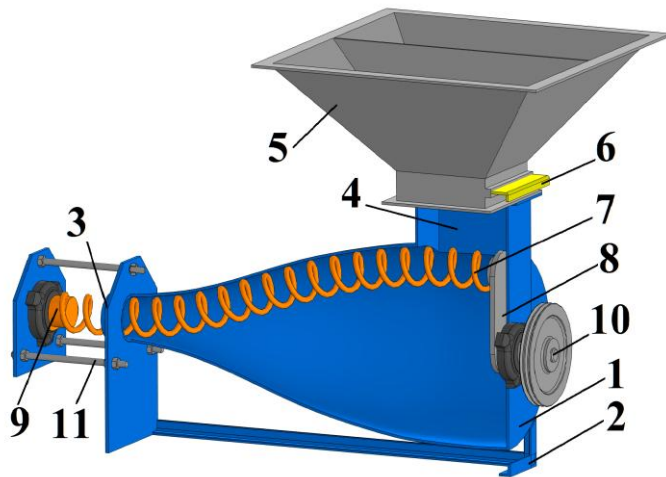
Помимо приготовления влажного корма предлагается технология приготовления сухого корма длительного хранения из побочных продуктов крахмалопаточного производства. Она заключается в последовательном выполнении следующих операций: загрузка сырьем бункеров-дозаторов, дозирование компонентов в разработанный спиральный смеситель (рис. 8), и выгрузка корма в накопительный бункер.

Принцип работы спирального смесителя (патент РФ № 2492776). Спираль 7 вращается от ведущей цапфы 10 вокруг своей оси, при этом её конец, закреплённый на эксцентрикe 8, совершает циклические круговые движения. Это обеспечивает смещение слоев корма и интенсивное перемешивание его компонентов при одновременном их перемещении спиралью к выгрузному окну 3. Изменение производительности спирального смесителя осуществляется за счет перемещения в горизонтальной плоскости ведомой цапфы 9 с помощью механизма изменения подачи 11, от чего изменяется шаг витков спирали.

Выражение для определения производительности Q , (кг/с) спиральных транспортеров имеет вид

$$Q = S_{сеч} \gamma \varphi v_{cp} \quad (25)$$

где $S_{сеч}$ – полезная площадь выгрузного отверстия, м^2 ; v_{cp} – средняя скорость частицы, м/с ; γ – объемная масса кормового материала, кг/м^3 ; φ – коэффициент заполнения.



1 – корпус, 2 – рама, 3, 4 – выгрузная и загрузочная горловины, 5 – бункер-накопитель, 6 – заслонка, 7 – спираль, 8 – эксцентрик, 9 – ведомая цапфа, 10 – ведущая цапфа, 11 – натяжное устройство.

Рисунок 8 – Схема спирального смесителя.

При этом площадь $S_{сеч}$ выгрузного отверстия смесителя с учетом сечения спирали определяется по формуле

$$S_{сеч} = \frac{\pi}{4} [D_{отв}^2 - (d_{внеш}^2 - d_{внутр}^2)], \quad (26)$$

где: $D_{отв}$ – диаметр выгрузного окна, м; $d_{внеш}$, $d_{внутр}$ – внешний и внутренний диаметры спирали, м.

Определим среднюю скорость движения сухого корма, для чего рассмотрим движение частицы по спиральной поверхности смесителя (рис. 9).

Параметрическое уравнение винтовой поверхности имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(u, v) = (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v \\ y &= y(u, v) = (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \\ z &= z(u, v) = c \cdot \sin u + b \cdot v \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

($0 \leq u < 2\pi$; $-\infty < v < \infty$) $a > 0$ и $b > 0$ – произвольные, но фиксированные числа,

Уравнения относительного движения частицы по спирали с учетом рисунка 9:

$$m\ddot{x} = -\mu \cdot N \frac{\dot{x}}{v_r} + N \cdot v_x - mg \cdot \cos \varphi + \quad (28)$$

$$+ 2 \cdot m \cdot \omega \cdot (\dot{y} \cdot \cos \alpha - \dot{z} \cdot \sin \alpha) + m \cdot \omega^2 \cdot x,$$

$$m\ddot{y} = -\mu \cdot N \frac{\dot{y}}{v_r} + N \cdot v_y + mg \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi -$$

$$- 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{x} \cdot \cos \alpha + m \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha \cdot (y \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha) \quad (29)$$

$$m\ddot{z} = -\mu \cdot N \cdot \frac{\dot{z}}{v_r} + N \cdot v_z - mg \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi + \quad (30)$$

$$+ 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{x} \cdot \sin \alpha + m \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha)$$

Начальные условия для определения положения частицы, перемещаемой спиралью:

$$\left. \begin{aligned} u|_{t=0} &= u_0, \dot{u}|_{t=0} = u_1 \\ v|_{t=0} &= v_0, \dot{v}|_{t=0} = v_1 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Для решения статически неопределимой системы добавляем уравнение поверхности спирали, что обеспечит переход от трех зависимых переменных x , y , z к двум независимым u и v . Полагая, что $u = u(t)$ и $v = v(t)$, пересчитаем производные от x , y , z и после деления на m запишем:

Уравнение (27)

$$\begin{aligned}
& -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \cos v - \\
& -c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \sin v - 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \cos v = \\
& = \frac{N}{m} \left\{ \mathcal{G}_x + \frac{\mu}{v_r} \left[c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v \right] \right\} - \\
& \quad -g \cdot \cos \varphi + \omega^2 \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v - \\
& -2 \cdot \omega \cdot \left\{ \left[c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v \right] \cdot \cos \alpha + \right. \\
& \quad \left. + (c \cdot \cos u \cdot \dot{u} + b \cdot \dot{v}) \cdot \sin \alpha \right\}. \tag{32}
\end{aligned}$$

Уравнение (28)

$$\begin{aligned}
& -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \sin v - \\
& -c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \cos v + 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \sin v = \\
& = \frac{N}{m} \left\{ \mathcal{G}_y + \frac{\mu}{v_r} \left[c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v \right] \right\} + \\
& +g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi - \omega^2 \cdot \cos \alpha \cdot \left[(a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \cos \alpha - (c \cdot \sin u + b \cdot v) \cdot \sin \alpha \right] + \\
& +2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha \left[c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v \right]. \tag{33}
\end{aligned}$$

Уравнение (29)

$$\begin{aligned}
& -c \cdot \sin u \cdot (\dot{u})^2 + c \cdot \cos u \cdot \ddot{u} + b \cdot \ddot{v} = \\
& = \frac{N}{m} \left[\mathcal{G}_z - \frac{\mu}{v_r} (c \cdot \cos u \cdot \dot{u} + b \cdot \dot{v}) \right] - g \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi + \\
& +\omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot \left[(c \cdot \sin u + b \cdot v) \cdot \sin \alpha - (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \cos \alpha \right] + \\
& +2 \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \left[-c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v \right]. \tag{34}
\end{aligned}$$

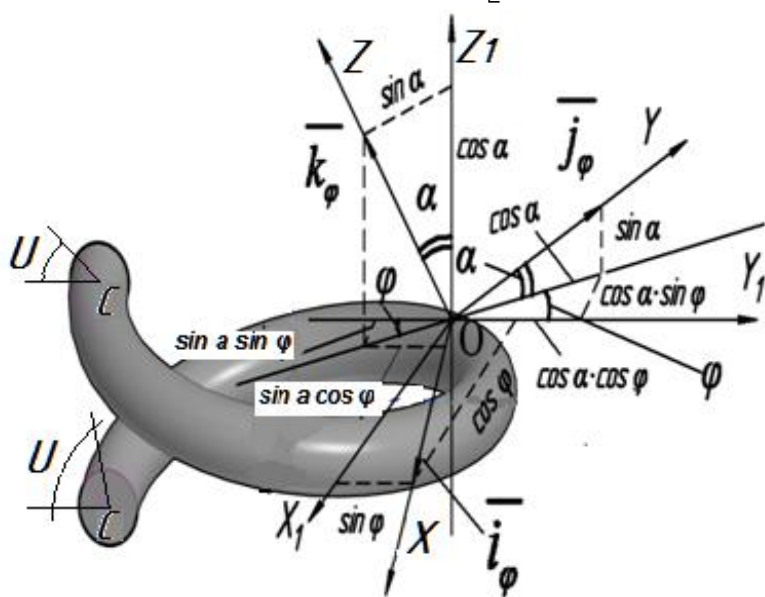


Рисунок 9 – Винтовая поверхность спирали с системами координат.

Уравнения (32...34) не решаются аналитически, поэтому решение было выполнено с помощью программы «Mathcad 14» численным методом. В результате выражение для определения средней скорости (v_{cp} , м/с) имеет вид

$$\begin{aligned}
v_{cp} = & -5,50 + 0,0054n + 0,0833 + \\
& + 0,0638k + 0,0008ns + 0,0006nk - \\
& - 0,028s^2 + 0,0032sk - 0,0021k^2 \tag{35}
\end{aligned}$$

где: n – частота вращения спирали, мин^{-1} ; s – шаг спирали, мм; k – эксцентриситет, мм.

Определив среднюю скорость v_{cp} по выражению (35) и подставив ее в формулу (26), можем найти производительность спирального смесителя.

В третьей главе «Программы и методики исследований» представлены программа и методики исследований конструктивно-технологических параметров разработанных машин и физико-механических, теплофизических свойств побочных продуктов крахмалопаточного производства. Экспериментальные исследования машин выполнялись с целью подтверждения результатов теоретических изысканий и определения оптимальных или рациональных конструктивно-технологических параметров.

Физико-механические свойства побочных продуктов крахмалопаточного производства определялись в соответствии с методиками по ГОСТ 9070-75, 28254-89, 7861-74 и частными, теплофизические – по методике, разработанной А.Ф. Чудновским. Экспериментальные исследования проводили на специально изготовленных лабораторных установках нейтрализации сгущенного кукурузного экстракта, шнеко-лопастного смесителя мезги и кукурузного экстракта, спирального смесителя кормов. Лабораторные исследования предусматривали проведение как однофакторных, так и многофакторных экспериментов.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты лабораторных исследований физико-механических и теплофизических свойств побочных продуктов крахмалопаточного производства, а также обоснование параметров разработанных средств механизации.

Результаты исследований липкости и плотности кукурузного экстракта. Графическое отображение зависимости липкости экстракта от температуры нагрева представлено на рисунке 11.

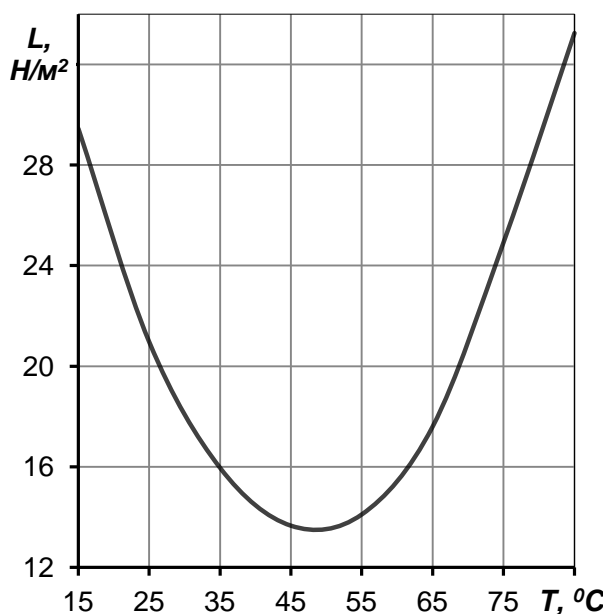


Рисунок 11 – Графическое отображение влияния температуры нагревания (t) сгущенного экстракта на липкость (L).

Анализ результатов показывает, что значение липкости сгущенного кукурузного экстракта при повышении температуры нагревания в интервале от +15 до +43°C уменьшается с 29,5 до 13,7 Н/м². При дальнейшем увеличении температуры от 53 до 85°C липкость изменяется от 14,1 до 33,3 Н/м². Как видно из графика, имеется характерный экстремум. Происходит это вследствие того, что первоначально при повышении температуры вязкость кукурузного экстракта снижается за счет дезагрегации его составляющих, что ведет к уменьшению липкости экстракта. Затем при температуре выше 50⁰ происходит постепенная денатурация белков из-за кислой среды с выпадением их в осадок, отчего липкость сгущенного экстракта возрастает.

Графическое отображение зависимости плотности кукурузного экстракта от влажности представлено на рисунке 12. Анализ графической зависимости показывает, что при изменении влажности с 50 до 95%, плотность экстракта

снижается с 1150 до 962 кг/м³.

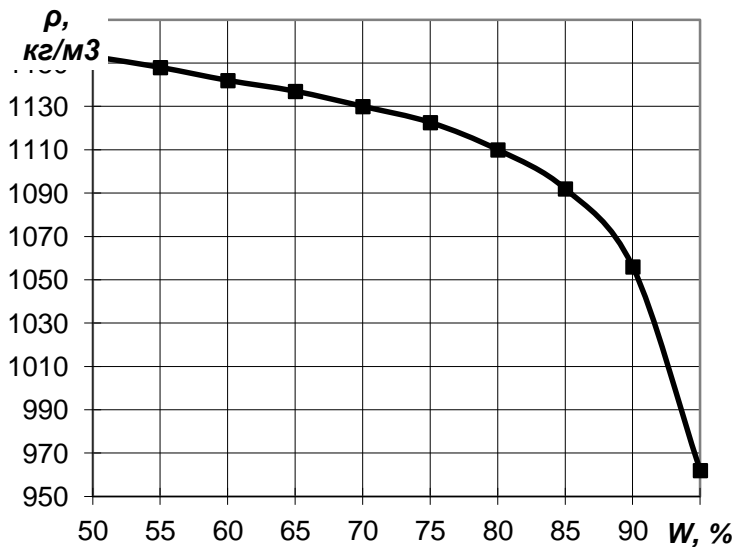


Рисунок 12 – Графическое отображение влажности (W) кукурузного экстракта на плотности (ρ).

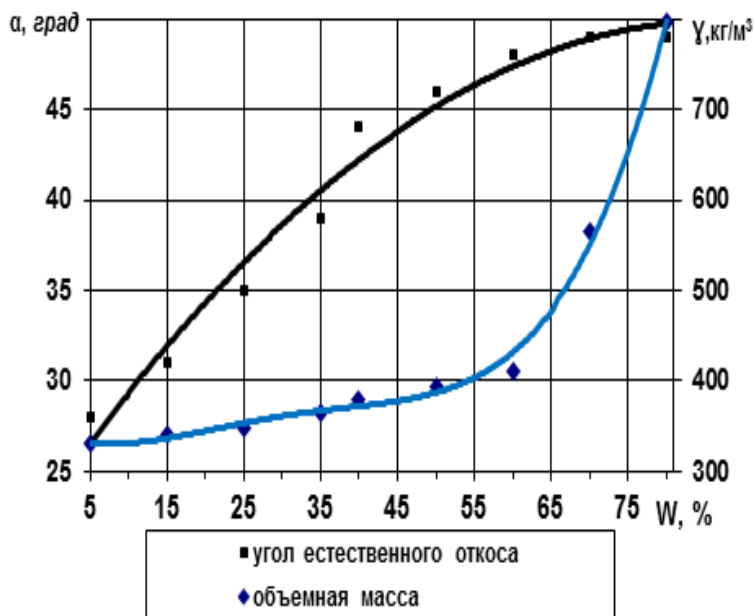


Рисунок 13 – Графическое отображение влияния изменения влажности (W) на угол естественного откоса (α) и объемную массу кукурузного корма.

Результаты исследования по определению коэффициентов трения кукурузного корма. Графические зависимости статического и динамического коэффициентов трения кукурузного корма от влажности по таким поверхностям, как сталь 45 ГОСТ 1050–88 и сталь 08X13 ГОСТ 56532–72, приведены на рисунке 14.

С повышением влажности смеси кукурузной мезги с экстрактом от 5 до 80% её статический коэффициент трения по стали 45 возрастает с 0,39 до 1,1, а по стали 08X13 – от 0,21 до 1,0, а динамический коэффициент трения повышается с 0,27 до 0,78 и 0,33 до 0,87 соответственно. Характер изменения статического и

Результаты исследования по определению угла естественного откоса и объемной массы кукурузного корма. Графические зависимости влияния влажности корма из смеси мезги и нейтрализованного сгущенного экстракта в соотношении 6,4:1 на угол естественного откоса и объемную массу кукурузного корма приведены на рисунке 13.

При повышении влажности корма от 5 до 80% происходит увеличение угла естественного откоса с 28 до 50° из-за роста сил внутреннего трения корма вследствие разрушения нативной структуры крахмального зерна. При влажности 80% и более корм приобретает свойство текучести.

При изменении влажности кукурузного корма от 5 до 80% его объемная масса возрастает с 339 до 796 кг/м³. Это связано с насыщением водой сырого корма, объемная масса которого значительно выше, чем у сухой смеси кукурузной мезги с экстрактом. При этом следует заметить, что в диапазоне от 5% до 35% объемная масса изменяется незначительно.

динамического коэффициентов трения в обоих случаях одинаков и объясняется тем, что в химическом составе мезги, входящей в состав корма, находится значительная доля крахмала. При наличии свободной влаги он набухает и клейстеризуется, создавая эффект прилипания материала к стальным пластинам.

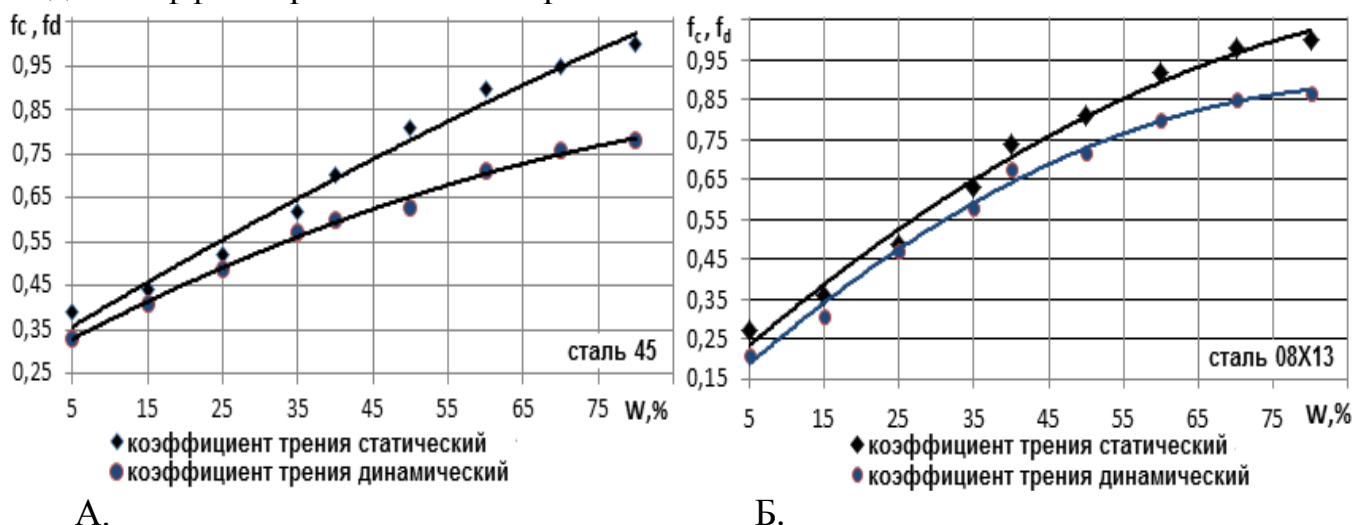


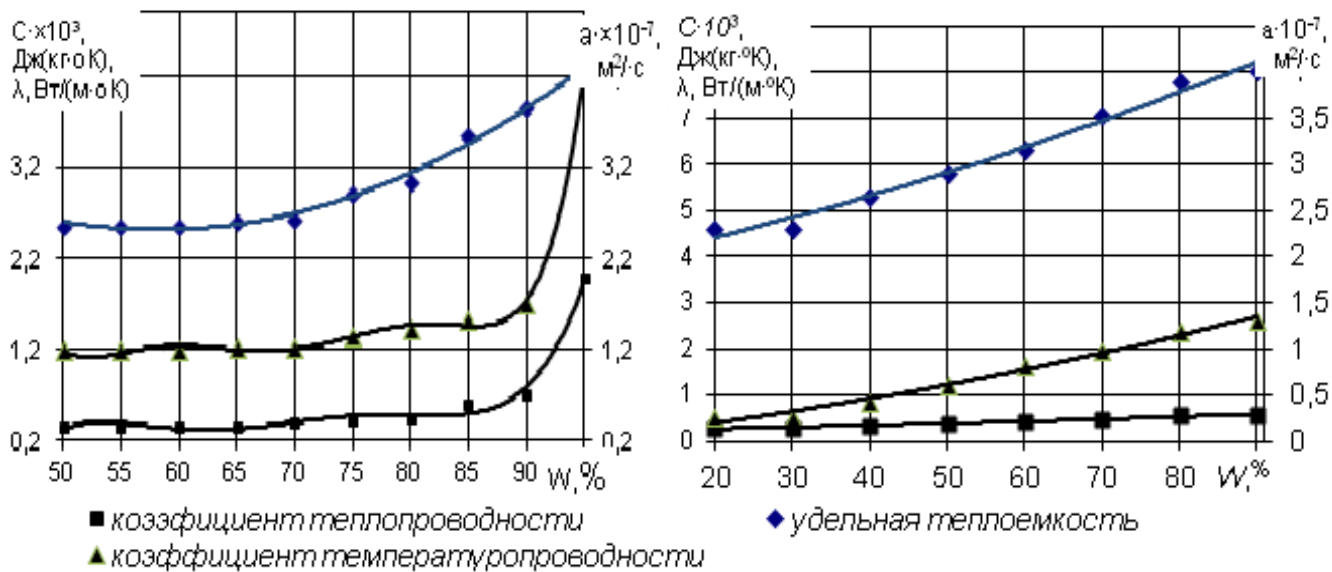
Рисунок 14 – Графические отображения изменения статического (f_c) и динамического (f_d) коэффициентов трения от влажности (W) кукурузного корма по стальной поверхности трения: А. – сталь 45 ГОСТ 1050–88; Б. – сталь 08X13 ГОСТ 56532–72.

Результаты исследований теплофизических свойств сгущенного кукурузного экстракта. По результатам исследований теплофизических свойств кукурузного экстракта, влажность которого варьировались с 50 до 95% при температуре 30°C, построены графические зависимости (рисунок 15А).

При повышении влажности с 50 до 95 % происходит увеличение удельной теплоемкости с $2,55 \times 10^3$ до $4,27 \times 10^3$ Дж/(кг·°К), коэффициентов температуропроводности и теплопроводности с $1,19 \times 10^{-7}$ до $4,30 \times 10^{-7}$ м²/с и 0,34 до 1,99 Вт/(м·°К) соответственно. Вид кривых может быть объяснен изменениями в характере формирования водородных связей при переносе теплоты в жидких средах.

Результаты исследований теплофизических свойств кукурузного корма. По результатам исследований построены графические зависимости коэффициента температуропроводности, коэффициента теплопроводности и удельной теплоёмкости (рисунок 15Б) кукурузного корма от его влажности.

При повышении влажности кукурузного корма с 20 до 90% значения его удельной теплоемкости, а также коэффициентов теплопроводности и теплоемкости увеличиваются. Характер представленных зависимостей можно считать близким к линейному. Изменение значений удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности и температуропроводности связано с порозностью кукурузного корма. Поэтому при увеличении доли воды в кукурузном корме, исследуемые показатели, плавно повышаются. В результате установили, что при повышении влажности кукурузного корма в исследуемом диапазоне, его удельная теплоемкость увеличилась с $2,65 \times 10^3$ до $4,02 \times 10^3$ Дж/(кг·°К), коэффициенты теплопроводности и температуропроводности с 0,33 до 0,58 Вт/(м²·°К) и с $0,42 \times 10^{-7}$ до $1,30 \times 10^{-7}$ м²/с, соответственно.



А.

Б.

Рисунок 15 – Графическое отображение влияния влажности на коэффициенты температуропроводности (a), теплопроводности (λ), теплоёмкость (c) кукурузного экстракта (А) и кукурузного корма (Б).

Результаты исследований процесса нейтрализации кукурузного экстракта.

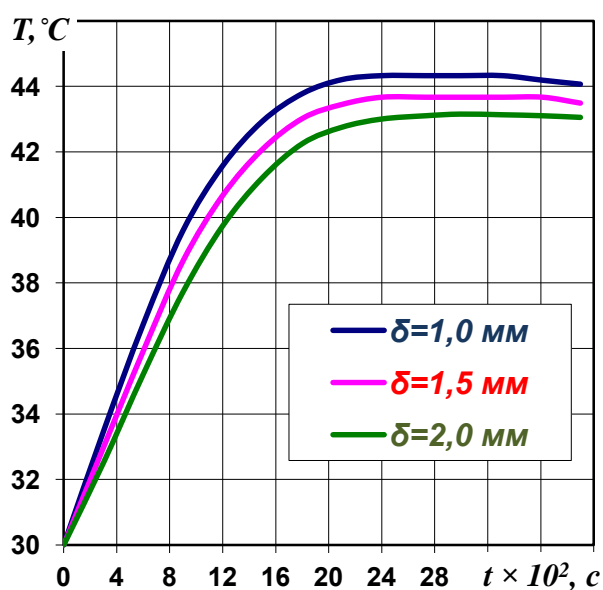


Рисунок 16 - Графическое отображение влияния толщины стенки внутреннего цилиндра на время и температуру нагревания экстракта.

При смешивании раствора реагентов с кукурузным экстрактом происходит дополнительное его нагревание. При подаче насоса $6,3 \cdot 10^{-6}$, $8,3 \cdot 10^{-6}$ и $10,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ температура нагревания кукурузного экстракта повышается до 45,9, 46,4 и 46,6 $^{\circ}\text{C}$ соответственно, при этом затраченное время составляет от 1080 до 1440 с.

Во всем диапазоне изменения подачи насоса обеспечивается повышение рН от исходного 3,9 значения до требуемого 6,3. Основное влияние подача насоса оказывает на время нейтрализации кукурузного экстракта. При подаче насоса $10,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ время нейтрализации составляет 1200 с, при $8,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ – 1320с, при $6,3 \cdot 10^{-6}$ – 1440 с.

Графические отображения зависимости температуры и времени нагревания экстракта от толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора представлены на рисунке 16.

При изменении толщины стенки внутреннего цилиндра от 0,001 до 0,002 м максимальная температура нагревания экстракта изменяется в диапазоне от 44,5 до 43,0 $^{\circ}\text{C}$, а время ее достижения составляет 2400...2700 с. Длительность стабилизации максимальной температуры – 912...1200 с.

Графическая зависимость изменения рН и температуры экстракта при его смешивании с реагентами в зависимости от подачи насоса нейтрализатора, представлена на рисунке 17.

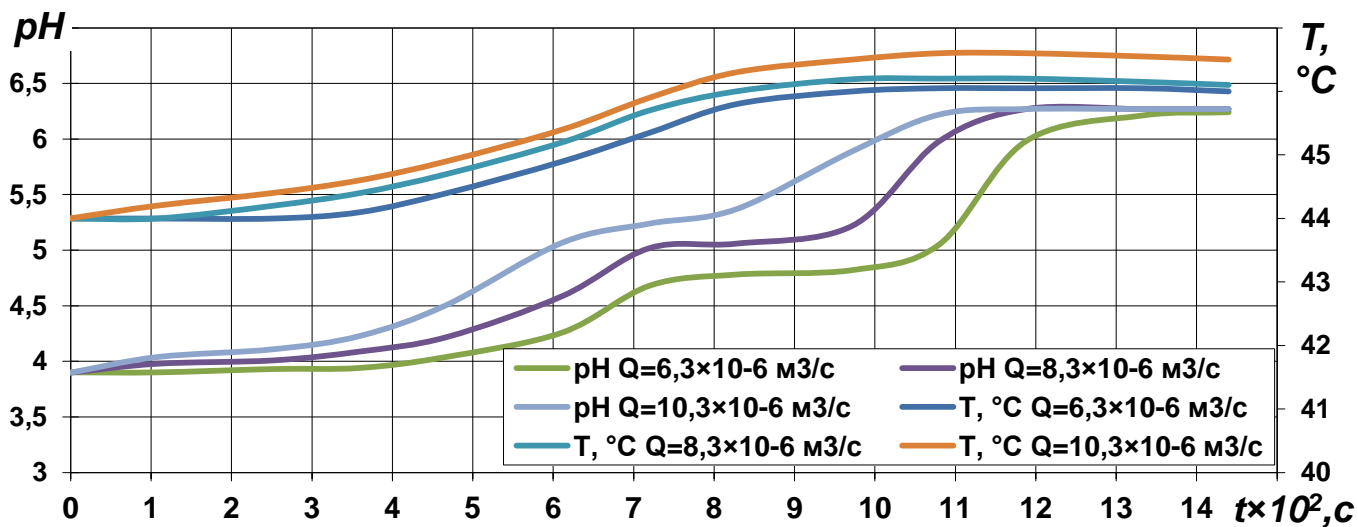


Рисунок 17 – Графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на температуру и pH кукурузного экстракта.

Обоснование рациональных параметров нейтрализатора кислотности сгущенного кукурузного экстракта. Для определения зависимости времени нагревания сгущенного кукурузного экстракта и удельного расхода энергии от совместного воздействия толщины стенки внутреннего цилиндра, подачи насоса и частоты вращения лопастной мешалки, был проведен многофакторный эксперимент с использованием методов планирования. Диапазоны варьирования факторов были выявлены из априорной информации и в ходе однофакторных экспериментов. Факторы и уровни их варьирования: толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора 0,001, 0,0015 и 0,002 мм; подача насоса $6,3 \cdot 10^{-6}$; $8,3 \cdot 10^{-6}$ и $10,3 \cdot 10^{-6}$ м³/с, а частота вращения мешалки 1,0; 5,0; и 9,0 с⁻¹.

В результате обработки опытных данных на ЭВМ получены следующие адекватные модели регрессии.

Для определения времени нагревания сгущенного кукурузного экстракта, ч:

$$t = 0,3705 + 0,07\delta + 0,0033 \delta^2 + 0,0009Q + 4,5321 \cdot 10^{-17} \delta Q + 0,0002 Q^2 - 0,0040n - 1,7327 \cdot 10^{-17} \delta n - 0,0006Qn + 0,0010n^2 \quad (35)$$

Для определения затрачиваемой удельной энергии, кВт·ч/т:

$$N = 0,1862 + 0,120\delta - 0,0267\delta^2 + 0,0299 Q + 0,01\delta Q + 0,0008 Q^2 - 0,1811n + 0,025\delta n - 0,0013Q n + 0,0311 n^2 \quad (36)$$

где δ – толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора, мм; Q – производительность насоса, м³/с; n – частота вращения мешалки, с⁻¹.

Полученные математические модели позволяют расчетным путем в пределах варьирования факторов найти численные значения времени нагревания сгущенного кукурузного экстракта и затрачиваемой удельной мощности.

С помощью компьютерной программы «Statistica 6.0» были построены графические зависимости частных сечений времени нагревания сгущенного кукурузного экстракта и удельного расхода энергии от изменения двух действующих факторов при фиксированных значениях третьего (рис. 18 и 19).

Анализ графических зависимостей показал, что к сокращению времени нагревания сгущенного кукурузного экстракта в нейтрализаторе и удельного

расхода энергии приводит уменьшение толщины стенки внутреннего цилиндра и подачи насоса, при частоте вращения мешалки от 1 до 3 с⁻¹.

С целью определения численных значений факторов, при которых реализуется условие минимального времени нагрева сгущенного кукурузного экстракта и удельного расхода энергии, была проведена их оптимизация. Так как основополагающим фактором процесса нагрева экстракта в нейтрализаторе кислотности является толщина стенки внутреннего цилиндра, которая ограничивается условием прочности, то при конструировании она будет зависеть от размеров агрегата. В результате шаговой обработки данных, с учетом принятых ограничений, было установлено, что для различной толщины стенки внутреннего цилиндра 0,001, 0,0015 и 0,002 м оптимальные численные значения факторов следующие: подача насоса от $6,3 \cdot 10^{-6}$ до $8,3 \cdot 10^{-6}$ м³/с при частоте вращения мешалки от 1,0 до 3,0 с⁻¹.

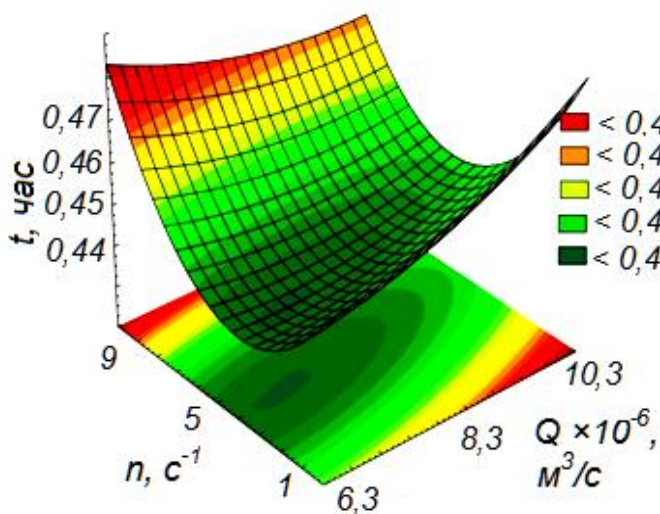


Рисунок 18 – Графическое отображение влияния производительности насоса (Q) и частоты вращения мешалки (n) на время нагревания (t), при толщине стенки внутреннего цилиндра ($\delta=0,001$ м).

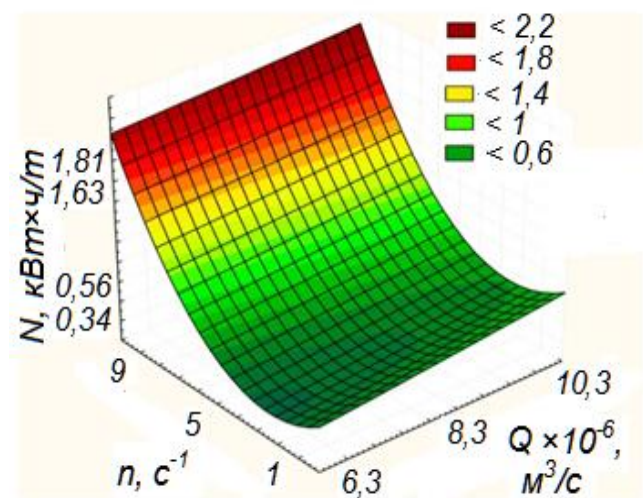


Рисунок 19 – Графическое отображение влияния производительности насоса (Q) и частоты вращения мешалки (n) на удельный расход энергии (N), при толщине стенки внутреннего цилиндра ($\delta=0,001$ м).

Обоснование рациональных параметров смесителя для приготовления влажного корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства. Для выявления оптимальных конструктивно-технологических параметров и режимов работы шнеко-лопастного смесителя при смешивании сгущенного кукурузного экстракта и отжатой мезги был проведён трёхфакторный эксперимент.

Конструктивно-технологические параметры, при которых реализуется работоспособность смесителя, зависят в первую очередь от частоты вращения и амплитуды колебаний рабочего органа, диаметра отверстий лопастей, через которые происходит подача кукурузного экстракта в зону смешивания.

В результате обработки на ЭВМ опытных данных получены следующие адекватные модели регрессии.

Для определения степени однородности приготавливаемого корма, %:

$$\Theta = 9,0 + 0,50625n - 0,0021875n^2 + 1,925nA - 0,015A^2 + 11,5d + 0,05Ad - 1,65625d^2 \quad (37)$$

Для определения затрачиваемой удельной энергии, кВт×ч/т:

$$N = 0,19375 - 0,0345n + 0,0002125n^2 + 0,09275A - 0,000125nA - ,00007A^2 - 0,108125d + 0,0000625nd + 3,40931 \times 10^{-16}Ad + 0,013125d^2 \quad (38)$$

где: n – частота вращения рабочего органа, мин^{-1} ; A – амплитуда колебания рабочего органа, мм; d – диаметр отверстия жиклеров лопастей, мм.

Модели регрессии второго порядка, адекватно отражающие процесс смешивания кукурузной мезги и сгущенного экстракта, были исследованы для выявления оптимальных параметров для обеспечения требуемой степени однородности смеси при минимальном удельном расходе энергии. С помощью компьютерной программы «Statistica» построены графические зависимости частных сечений степени однородности смеси и удельного расхода энергии при фиксированных значениях частоты вращения рабочего органа смесителя, амплитуды колебания мембраны и диаметра отверстий лопастей (рис. 20).

Проведенные лабораторные исследования процесса смешивания отжаты мезги и нейтрализованного сгущенного экстракта показали, что полученная степень однородности смеси соответствует зоотехническим требованиям. Поэтому в дальнейшем оптимизацию факторов: частоту вращения рабочего органа, его амплитуду колебаний и диаметр отверстия в лопастях, проводили относительно минимума удельного расхода энергии на процесс смешивания.

Определение численных значений факторов, при которых реализовано условие минимального удельного расхода энергии, проводили путём шаговой обработки данных. В результате анализа полученных графических зависимостей были установлены диапазоны изменения факторов и шаг их изменения.

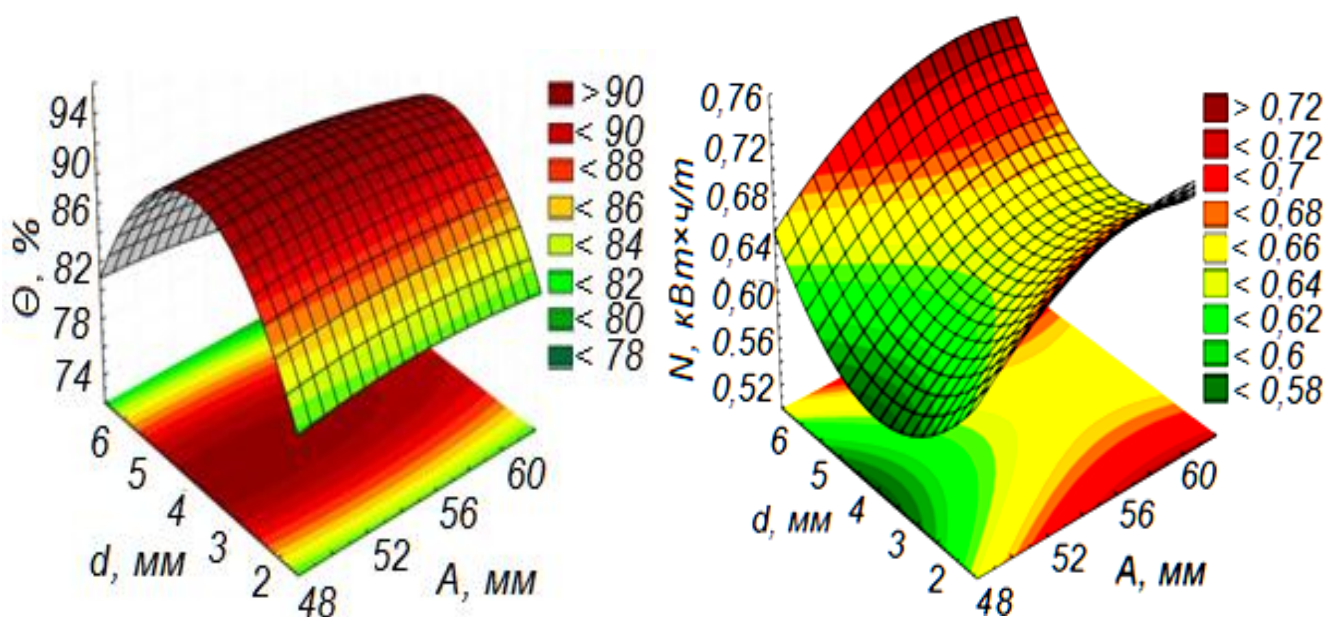


Рисунок 20 – Графическое отображение влияния амплитуды колебаний рабочего органа (A) и диаметра отверстия лопастей (d) на степень однородности смеси (Θ) (А) и удельный расход энергии (N) (Б) при частоте вращения рабочего органа 80 мин^{-1} .

Пошаговая обработка в указанном диапазоне позволила установить, что минимальный расход энергии на смешивании $(15,0...16,5) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$, обеспечивается при изменении частоты вращения рабочего органа $1,58...1,75 \text{ с}^{-1}$, амплитуде его колебаний $0,05 \text{ м}$ и диаметре отверстий в смешивающих лопастях $0,004 \text{ мм}$.

Обоснование рациональных параметров спирального смесителя. Для выявления конструктивно-режимных параметров модели спирального смесителя при приготовлении сухой смеси из кукурузной мезги с экстрактом, дробленого кукурузного зерна и жмыха, был также проведён трёхфакторный эксперимент.

Параметры спирального смесителя, при которых реализуется его работоспособность, в первую очередь зависят от частоты вращения рабочего органа, шага спирали и эксцентриситета её установки. В результате постановочных экспериментов были определены факторы и границы варьирования: изменение частоты вращения рабочего органа от 1,7 до 5,0 с⁻¹, шаг спирали – от 0,055 до 0,095 м, эксцентриситет – от 0,055 до 0,085мм.

В результате обработки результатов многофакторного эксперимента на ЭВМ получены следующие адекватные модели регрессии.

Для определения однородности смеси, %:

$$\theta = 83,96247 + 0,01385n - 4,16667 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,11281S - 0,00019nS - 0,00013S^2 + 0,29898k + 0,0001nk + 0,0025Sk - 0,00279k^2 \quad (39)$$

Для определения потребляемой удельной энергии, кВт·ч/кг:

$$N_{y0} = 2,21076 - 0,00171 n + 0,000004 n^2 - 0,05603 S + 6,25 \times 10^{-7} n S + 0,00037S^2 + 0,00459k - 8,33333 \cdot 10^{-7} nk + 6,12818 \cdot 10^{-19} Sk - 0,00001k^2 \quad (40)$$

где: n – частота вращения рабочего органа, мин⁻¹; S – шаг спирали, мм; k – величина эксцентриситета, мм.

Уравнения (39, 40) позволяют расчетным путем определить численные значения однородности смеси и затрачиваемой удельной энергии в пределах варьирования уровней факторов эксперимента.

Уравнения регрессии второго порядка были проанализированы и исследованы для выявления оптимальных параметров удельного расхода энергии и степени однородности смеси.

С этой целью с помощью компьютерной программы «Statistica 6.0» построены графические зависимости частных сечений удельного расхода энергии и степени однородности смеси при фиксированных значениях частоты вращения рабочего органа смесителя, шага спирали и эксцентриситета рабочего органа (рис. 21).

Исходя из результатов проведенных лабораторных исследований процесса смешивания компонентов корма следует, что полученная степень однородности смеси соответствует зоотехническим требованиям, предъявляемым к подобным кормам. Поэтому в дальнейшем оптимизацию факторов, частоту вращения рабочего органа, шаг спирали и эксцентриситет проводили относительно удельного расхода энергии, затрачиваемой на процесс смешивания, при условиях его минимума.

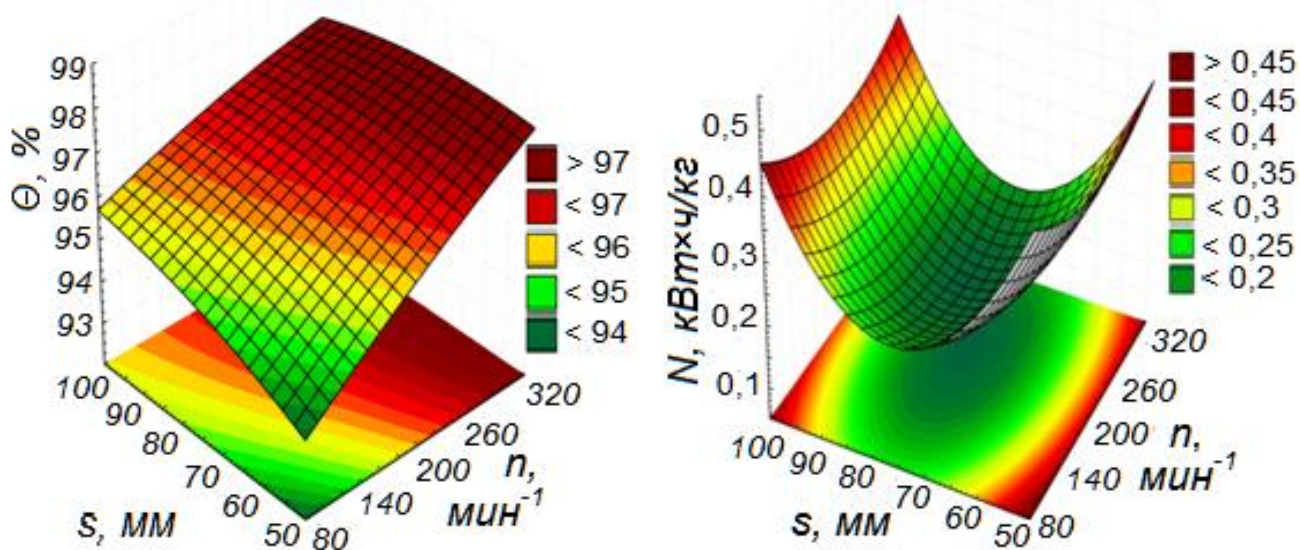
По результатам шаговой обработки опытных данных и их анализа выявлены следующие оптимальные численные значения факторов в пределах их варьирования:

– при частоте вращения рабочего органа 3,0 с⁻¹ шаг спирали – 0,085м, эксцентриситет – 0,065м;

– при частоте вращения рабочего органа 3,7 с⁻¹ шаг спирали – 0,070 м, эксцентриситет – 0,075 м;

– при частоте вращения рабочего органа 4,3 с⁻¹ шаг спирали – 0,075м, эксцентриситет – 0,070 м.

Из анализа полученных численных оптимальных значений факторов установлено, что минимальный удельный расход энергии на смешивание компонентов корма составляет $(4,2...5,6) \times 10^{-5}$ Вт·с / кг.



А.

Б.

Рисунок 21 – Поверхности отклика, характеризующие степень однородности смеси (А) и удельный расход энергии (Б) от частоты вращения n и шага спирали s при эксцентриситете $k = 70$ мм.

Проведенный сравнительный анализ теоретических и экспериментальных исследований, представленный в главе, показал, что их расхождение не превышает 5%.

В пятой главе «Результаты внедрения в производство и оценка экономической эффективности разработанной технологии» приведены результаты производственной проверки разработанных технологии и технических средств приготовления кормов сельскохозяйственным животным с предварительной нейтрализацией кислотности сгущенного кукурузного экстракта, а также представлены результаты внедрения спирального смесителя при приготовлении сухих кукурузных кормов.

На основании результатов выполненных исследований была разработана техническая документация и изготовлены нейтрализатор сгущенного экстракта и шнеко-лопастной смеситель для приготовления корма. По заказу ОАО «Ибрехкрахмалпатока», на производственном предприятии ЗАО «Газтехпром» изготовлена опытная партия нейтрализаторов кислотности в количестве 2 штук.

Разработанная технология и технические средства внедрены в производство ОАО «Ибрехкрахмалпатока» Шилковского района, Рязанской области (рис. 22).

В результате производственной проверки разработанной технологии и технических средств приготовления влажных кормов установлено:

- производственные образцы нейтрализатора сгущенного кукурузного экстракта и шнеко-лопастного смесителя работоспособны и обеспечивают непрерывность линии приготовления влажного кукурузного корма;

- время нагревания сгущенного кукурузного экстракта до максимально возможной температуры $40...43^{\circ}$ составило 2160...2448 с;

– время нейтрализации сгущенного кукурузного экстракта до достижения $pH=6,2...6,4$ составило 1188...1512 с, при этом его температура дополнительно повысилась на $1...3^{\circ}C$.

– производительность производственного образца нейтрализатора – 0,67 кг/с;

– производительность производственного образца шнеко-лопастного смесителя – 1,50 кг/с;

– удельные затраты энергии на процесс нейтрализации кислотности сгущенного кукурузного экстракта $(38,0...44,4) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг;

– удельные затраты энергии на процесс смешивания – $(18,1...20,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг;

– степень однородности приготовленного корма составила – 93%.

За время производственной проверки технологии был приготовлен влажный корм из отжатой мезги и нейтрализованного сгущенного кукурузного экстракта в объеме 95742,77 тонн, который реализовывался производителям сельскохозяйственной продукции Рязанской, Владимирской и Московской областей.



А.



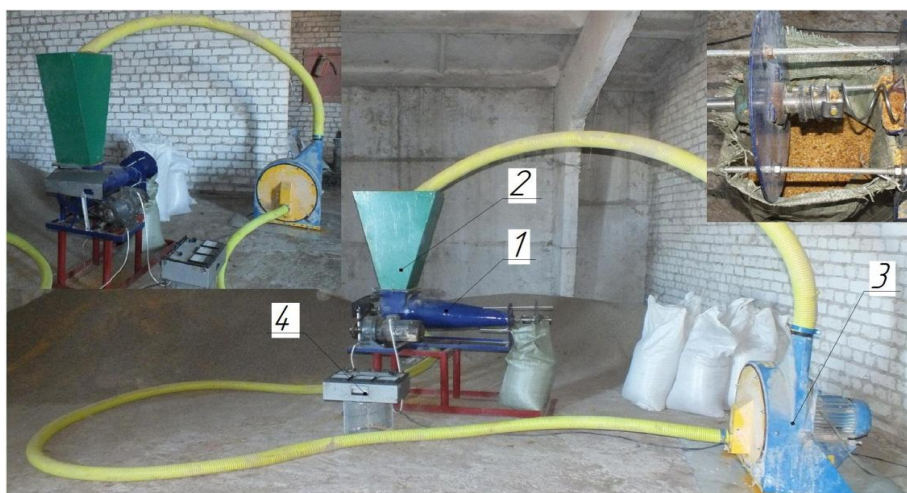
Б.

Рисунок 22 – Общий вид нейтрализатора (А) и смесителя (Б) в цехе приготовления кукурузного корма ОАО «Ибретькрахмалпатока»

Производственная проверка спирального смесителя проводилась в составе производственных линий приготовления рассыпного и гранулированного кукурузного корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства ООО «Рассвет» Клепиковского района и ООО «Амкор» Шиловского района Рязанской области (рис. 23, 24).

В результате производственных испытаний было установлено, что спиральный смеситель работоспособен и имеет производительность 0,33...0,37 кг/с, удельный расход энергии $(11,1...16,7) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг, степень однородности сухого кукурузного корма – не менее 94%.

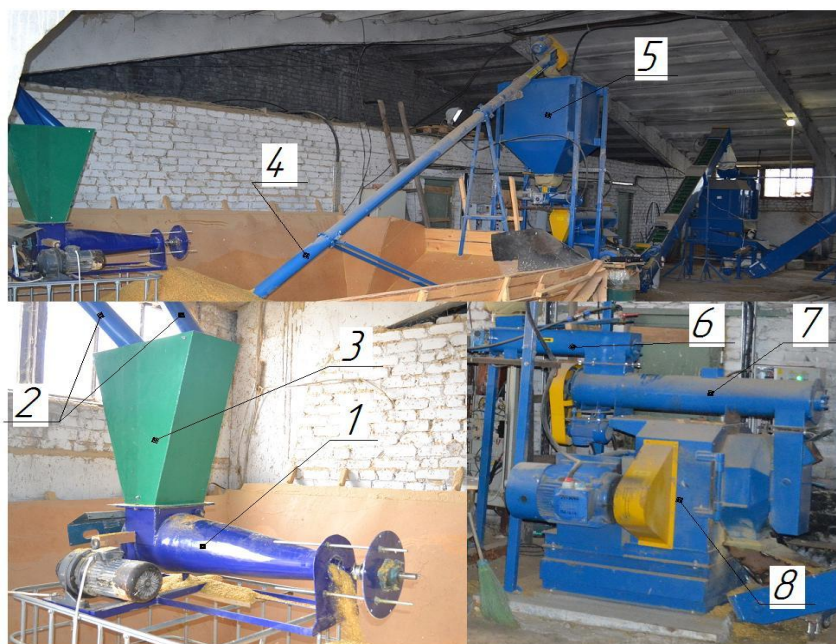
Исследования по скармливанию сельскохозяйственным животным приготовленного по предлагаемой технологии влажного кукурузного корма из побочных продуктов крахмального производства проводились в СПК «Мурминский» Рязанского района Рязанской области. Исследования по определению эффективности использования сухих рассыпного и гранулированного кукурузных кормов проводились на фермах ООО «АгроКапитал» и ООО «Рассвет» Рязанской области. Хозяйственные эксперименты показали положительный результат и позволили разработать рекомендации по величине скармливания кукурузных кормов сельскохозяйственным животным.



- 1 – спиральный смеситель;
- 2 – бункер-накопитель компонентов;
- 3 – пневматическая дробилка ДКР-1;
- 4 – измерительный комплект К-50.

Рисунок 23 – Производственный образец спирального смесителя в составе линии сухого рассыпного кукурузного корма.

Экологический мониторинг техногенного давления крахмалопаточного предприятия ОАО «Ибретькрахмалпатока» на р. Ибреть в период с 2006 по 2018 год показал, что внедрение разработанной технологии позволило снизить химическое потребление кислорода (ХПК) поверхностных вод данной реки на 25%, биохимическое потребление кислорода (БПК) – 56,6%.



- 1 – смеситель;
- 2 – самотечные каналы;
- 3 – бункер-накопитель компонентов;
- 4 – загрузной шнековый питатель;
- 5 – бункер временного хранения смеси;
- 6 – дозатор;
- 7 – увлажнитель;
- 8 – пресс-гранулятор;
- 9 – ленточный транспортер;
- 10 – колонна охлаждения;
- 11 – циклон;
- 12 – вентилятор колонны охлаждения.

Рисунок 24 – Линия гранулирования сухих кукурузных кормов (ООО «Амкор»).

Годовая экономическая эффективность от внедрения технологии приготовления влажных кукурузных кормов с предварительной нейтрализацией сгущенного кукурузного экстракта составила 3607800 рублей в ценах 2020 года при сроке окупаемости 0,35 года. Дополнительная прибыль кукурузоперерабатывающего предприятия – 9110400 руб/год.

Внедрение разработанного спирального смесителя в производственную линию приготовления кукурузных кормов при объеме производства 2371 тонны позволяет получить годовой экономический эффект в размере 51213,6 руб/год, при этом срок окупаемости составит 3,2 года.

Внедрение влажного и гранулированного кукурузного корма в рационы кормления крупного рогатого скота позволит получить годовой экономический эффект в сумме 2387100 и 889000 руб/год соответственно в расчете на 100 голов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненной работы

1. На основании анализа технологий и технических средств установлено, что побочные продукты крахмалопаточного производства, получаемые при переработке зерна кукурузы, используются в животноводстве нерационально, и в первую очередь жидкий экстракт, имеющий кормовую ценность, но из-за кислой среды и высокой влажности безвозвратно теряемый, оказывая негативное влияние на окружающую среду. Перспективным является направление приготовления из побочных продуктов крахмалопаточного производства кормовых смесей с предварительной концентрацией сухих веществ кукурузного экстракта и снижением его кислотности.

2. Исследованы основные физико-механические и теплофизические характеристики побочных продуктов крахмалопаточного производства, необходимые при обосновании технологии и средств механизации их переработки.

Нагревание сгущенного кукурузного экстракта с 15 до 43°С снижает его липкость с 29,5 до 13,7 Н/м², однако последующий рост температуры до 85°С ведет к повышению липкости до 33,3 Н/м² с характерным минимумом при 45...50°С.

Увеличение влажности сгущенного кукурузного экстракта с 50 до 95% повышает коэффициенты температуропроводности с $1,2 \cdot 10^{-7}$ до $4,3 \cdot 10^{-7}$ м²/с, теплопроводности – с 0,34 до 1,99 Вт/(м·К) и повышает удельную теплоемкость с $2,55 \cdot 10^3$ до $4,27 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). При этом плотность сгущенного кукурузного экстракта уменьшается с 1149 до 962 кг/м³.

Изменение влажности кукурузного корма с 20 до 90% повышает коэффициент температуропроводности с $0,26 \times 10^{-7}$ до $1,30 \times 10^{-7}$ м²/с, теплопроводности – с 0,28 до 0,57 Вт/(м·°К) и увеличивает удельную теплоёмкость – с $2,30 \times 10^3$ до $4,01 \times 10^3$ Дж/(кг·°К).

Повышение влажности кукурузного корма с 5 до 80% ведет к увеличению его угла естественного откоса с 28 до 50° и объёмной массы с 339 до 796 кг/м³. При том же диапазоне изменения влажности коэффициенты трения по стали 45 статический и динамический повышаются с 0,39 до 1,1 и с 0,27 до 0,78, а по стали 08X13 – соответственно увеличиваются с 0,21 до 1,0 и с 0,33 до 0,87.

3. Технология приготовления влажного кукурузного корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства должна предусматривать смешивание в пропорции 6,4:1 отжатой кукурузной мезги (W= 63...65%) со сгущенным

кукурузным экстрактом ($W=58\%$), прошедшим предварительную нейтрализацию кислотности ($pH=6,0...6,5$) водным раствором гидроксидов кальция и натрия. В качестве дополнительных компонентов смеси могут быть дробленое зерно кукурузы, пелера и жмых.

Установлено, что для нейтрализации кислотности одного килограмма сгущенного кукурузного экстракта с влажностью 58% необходимо 0,019 кг оксида кальция и 0,012 г гидроксида натрия, что обеспечит снижение pH с 3,9 до 6,3, продолжительность процесса составляет 1188...1512 с.

4. Конструктивно-технологическая схема нейтрализатора кислотности включает две цилиндрические ёмкости, установленные соосно одна в другой: внутреннюю для приготовления водного раствора реагентов, снабженную осевой мешалкой, и внешнюю – сгущенного кукурузного экстракта, при этом соединенные между собой трубопроводом с насосом для перекачки и смешивания растворов.

Установлена теоретическая зависимость изменения температуры с учетом конструктивных параметров нейтрализатора и физико-механических, теплофизических свойств сгущенного кукурузного экстракта, обеспечивающих его нагревание за счёт теплоты, выделяемой при приготовлении водного раствора реагентов и нейтрализацию кислотности при смешивании.

Лабораторные исследования выявили влияние толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора на достижение максимальной температуры и время нагревания в нем сгущенного кукурузного экстракта. Так для толщины стенки внутреннего цилиндра 0,001, 0,0015, 0,002 м температура сгущенного кукурузного экстракта достигает 44,3; 43,6; 43,1 °С при времени нагревания 2088; 2412; 2700 с соответственно, далее его температура стабилизируется в течение 1188...1512 с.

Установлены рациональные значения параметров нейтрализатора: подача насоса составляет $(6,3...8,3) \times 10^{-6}$ м³/с, частота вращения мешалки 1,0 ... 3,0 с⁻¹. Время нагревания и энергоёмкость процесса составляют 1500...1620 с и $(7,0...7,5) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг при толщине стенки 0,001 м; 1680...1740 с и $(7,8...10,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг при толщине стенки 0,0015 м; 1860...1920 с и $(8,6...12,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг при толщине стенки 0,002 м соответственно. Время нейтрализации кислотности сгущенного кукурузного экстракта составляет 1188...1440 ч при снижении показателя pH с 3,9 до 6,3.

5. Конструктивно-технологическая схема шнеко-лопастного смесителя для приготовления влажного кукурузного корма должна содержать корпус, снабженный в зоне входной горловины мембраной, заземленной по периметру с образованием камеры сгущенного экстракта, и мешалку, выполненную в виде винтового конвейера и полых лопастей, последовательно расположенных на общем валу. Полости вала и лопастей сообщены между собой и с камерой сгущенного экстракта. Мешалка установлена в опорах мембраны и корпуса с возможностью совершать вращательные и возвратно-поступательные движения вдоль своей оси.

Теоретическими исследованиями установлено, что средняя скорость перемещения массы в смесителе зависит от его геометрических размеров и мембраны, а также частоты вращения и амплитуды колебаний рабочего органа.

Экспериментально выявлены оптимальные параметры смесителя: частота вращения мешалки 1,58...1,75 с⁻¹ при амплитуде её колебаний 0,05 м и диаметре отверстий жиклёров полых лопастей 0,004 м. При этом степень однородности

кормовой смеси будет в пределах 90...96%, а энергоёмкость процесса $(15,0...16,3) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

6. Конструктивно-технологическая схема спирального смесителя приготовления сухих кукурузных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства должна содержать корпус с установленной в нём с возможностью вращения спиралью с закрепленными концами – одним на эксцентрик ведущей цапфы с обеспечением циклических круговых движений, а другим – на ведомой цапфе механизма горизонтального её перемещения.

Получена математическая зависимость средней скорости перемещения кормовой массы в спиральном смесителе в диапазоне изменения частоты вращения рабочего органа $1,67...5,83 \text{ с}^{-1}$, шага спирали $0,035...0,095 \text{ м}$ и эксцентриситета в пределах $0,055$ до $0,105 \text{ м}$.

Экспериментально установлены рациональные параметры спирального смесителя: частота вращения рабочего органа $3,0...4,33 \text{ с}^{-1}$, шаг спирали – $0,070...0,085 \text{ м}$ и эксцентриситет – $0,065...0,075 \text{ мм}$, позволяющие обеспечить степень однородности кормовой смеси 96...98 % при удельном расходе электроэнергии $(4,2...5,6) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

7. В результате производственной проверки технологии и технических средств установлено следующее.

Для достижения показателя $rH=6,2...6,4$ сгущенного кукурузного экстракта при его смешивании с водным раствором гидроксидов кальция и натрия в нейтрализаторе с объёмом камер внешней $2,88$ и внутренней $0,27 \text{ м}^3$, требуется $3348...3960 \text{ с}$ при температуре $40...43^\circ\text{C}$. Производительность нейтрализатора составляет $0,69 \text{ кг/с}$, а энергоёмкость процесса $(38,0...44,4) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

Шнеко-лопастной смеситель в производственной линии приготовления влажного кукурузного корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства на основе отжатой кукурузной мезги и сгущенного кукурузного экстракта с предварительной нейтрализацией позволяет производить кормовые смеси влажностью 65...70%, отвечающие зоотехническим требованиям со степенью однородности не менее 93% при удельном расходе энергии $(18,1...20,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

Спиральный смеситель в производственной линии приготовления сухих кукурузных кормов из отжатой кукурузной мезги со сгущенным кукурузным экстрактом, дробленого зерна кукурузы и жмыха кукурузного зародыша обеспечивает получение смесей влажностью 10...14%, отвечающих зоотехническим требованиям со степенью однородности 94...95% при удельном расходе энергии $(11,1...11,7) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

8. Результаты технико-экономической оценки показали, что применение разработанной технологии приготовления влажных кукурузных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства позволяет исключить сброс сгущенного кукурузного экстракта в окружающую среду и использовать его в полном объёме в качестве компонента кормов для сельскохозяйственных животных.

Годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии при приготовлении 47304 т влажных кукурузных кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства с предварительной нейтрализацией сгущенного кукурузного экстракта составил 3607800 руб , срок окупаемости оборудования – $0,35$

года, дополнительная годовая прибыль – 9110400 руб (расчеты представлены в ценах 2020 года).

Годовой экономический эффект от внедрения спирального смесителя, при приготовлении 2371 тонн гранулированных сухих кукурузных кормов составит 51213,6 руб, срок окупаемости – 3,2 года.

Использование влажных и сухих кукурузных кормов в рационах кормления крупного рогатого скота обеспечит годовой экономический эффект соответственно 2387100 и 889000 руб в расчете на 100 голов.

Предложения и рекомендации производству

Результаты научных исследований могут быть использованы на предприятиях перерабатывающих зерно кукурузы на крахмал и масло различной мощности с целью снижения издержек производства и экологического ущерба за счет использования побочных продуктов крахмалопаточного производства для приготовления кормов (патенты РФ на изобретения №№ 2336722, 2396838, 2422039), в кормопроизводстве сельскохозяйственных предприятий, а также для проектных и научных учреждений при разработке и создании оборудования для производства кормов.

К производству на предприятиях сельхозмашиностроения рекомендуются нейтрализатор (патент РФ на изобретение № 2396838), предназначенный для снижения кислотности сгущенного кукурузного экстракта, либо подобного материала, шнеко-лопастной смеситель (патент РФ на изобретение №2454273), позволяющий получать влажный корм с высокой степенью однородности смеси, комбикормовый агрегат (патент РФ на изобретение 2492776) для приготовления качественных сухих кукурузных кормов из смеси отжатой кукурузной мезги с сгущенным кукурузным экстрактом, дробленого зерна и жмыха.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработка и обоснование параметров дозаторов химических реагентов, с автоматической настройкой соотношения вводимых в сгущенный кукурузный экстракт химических реагентов для нейтрализации кислотности.

Разработка и обоснования параметров технологии и технических средств консервирования влажного кукурузного корма в контейнерах длительного хранения.

Разработка и обоснование технологии и технических средств концентрирования сгущенного кукурузного экстракта с одновременной нейтрализацией его кислотности.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Монографии:

1. Утолин, В.В. Рекомендации по приготовлению кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства /В.В. Утолин. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВО РГАТУ, 2022. – 92с. ISBN 978-5-98660-386-5.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

2. Способ приготовления корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.А. Коньков, Н.В. Счастликова // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 1. – С. 8-9.

3. Нейтрализатор кислотности сгущенного экстракта [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.А. Коньков, Н.В. Счастликова //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 2. – С. 15-16.

4. Утолин, В.В. Критерий качества разделения дисперсных систем [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Счастликова Н.В.Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2011.– № 5. – С. 29-31.

5. Утолин, В.В.Технология приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Н.В. Счастликова, Е.Е. Гришков //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. № 2. – С. 13-14.

6. Исследование физико-механических свойств кукурузной мезги [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселёв //Техника в сельском хозяйстве. – 2013. –№ 4. – С. 31-32.

7. Шнеково-лопастной смеситель для приготовления кормов [Текст] /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, А.А. Полункин, Е.Е. Гришков //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 6. – С. 11-12.

8. Утолин, В.В. Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров спирального смесителя [Текст] // В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.М. Лавров // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. № 1 (25). – С. 70-76.

9. Испытания спирального смесителя в производственных условиях /В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин, Е.Е. Гришков и др. // Сельский механизатор.– 2018. № 2. С. 26-27

10. Конструктивно-технологические параметры спирального смесителя /В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.А. Полякова, А.Н. Топильский // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 28-29.

11. Утолин, В.В. Оптимизация параметров смесителя для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В. Утолин, В.А. Хрипин, Н.Е. Лузгин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. № 3 (35). С. 114-118.

12. Утолин В.В. Дифференциальное уравнение движения по геликоиду / В.В. Утолин, А.Ю. Кирьянов, А.А. Полункин // Вестник РАН. – М.: Издание Российской Академии естественных наук. – 2019. Т. 19. № 2. – С. 175-176.

13. Утолин, В.В. Исследование спирального смесителя кормов /В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.В. Паршина и др. //Вестник аграрной науки Дона. – 2019.- № 4 (48). С. 26-35.

14. Утолин, В. В. Повышение эффективности приготовления кукурузных кормов / В. В. Утолин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 150-158.

Статьи в изданиях, индексируемых базой Scopus или Web of Science:

15. Quantifying productivity of a gravity dispenser Ulyanov V.M., Utolin V.V., Luzgin N.E., Parshina M.V., Polunkin A.A. в сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad", DAIC 2020" 2020. С. 1015.

16. Studying physical and mechanical characteristics of corn feed/ Ulyanov V., Utolin V., Luzgin N., Krygin S., Parshina M. В сборнике: BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019). 2020. С. 00209

17. Mixer for dry concentrated feed / V. Ulyanov, V. Utolin, N. Luzgin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. – Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012143. – DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012143.

Патенты РФ:

18. Пат. РФ № 2336722. Способ приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства / Подобуев Г.А., Утолин В.В., Коньков М.А. – Оpubл. 27.10.2008; Бюл.№ 30.

19. Пат. РФ № 2396838. Способ приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмало-паточного производства / Утолин В.В., Коньков М.А., Полункин А.А., Счастликова Н.В. - Оpubл. 20.08.2010; Бюл. № 23.

20. Пат. РФ № 2422039. Способ приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства /Утолин В.В., Коньков М.А., Полункин А.А., Счастликова Н.В. – Оpubл. 27.06.2011. Бюл.№ 18.

21. Пат. РФ № 2473292. Устройство для приготовления известкового молочка / Счастликова Н.В., Полункин А.А., Ульянов В.М., Утолин В.В., Коньков М.А. – Оpubл. 27,07,2011; Бюл. № 21.

22. Пат. РФ № 2454273 Комбикормовый агрегат /Счастликова Н.В., Полункин А.А., Ульянов В.М., Утолин В.В., Коньков М.А. – Оpubл. 10.11.2011; Бюл. № 31

23. Пат. РФ № 2492776. Комбикормовый агрегат / Ульянов В.М., Утолин В.В., Гришков Е.Е. – Оpubл. 20.09.2013; Бюл. № 26.

24. Пат. РФ № 2687202. Смеситель кормов / Ульянов В.М., Утолин В.В., Липин В.Д., Паршина М.В., Паршина В.А. – Оpubл. 07.05.2019; Бюл.№ 13.

25. Пат. на полезную модель RU 184627 U1. Комбикормовый агрегат /Утолин В.В., Липин В.Д., Лузгин Н.Е., Паршина М.В. – Оpubл. 01.11.2018; Бюл. №31.

Статьи в других изданиях

26. Утолин, В.В. Показатели эффективности механических обезвоживателей [Текст] / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Н.В. Счастликова //Сб.: Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК Сборник научных трудов. Посвящается 60-летию инженерного факультета. Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2011. – С. 105-109.

27. Утолин, В.В. Результаты выполненных исследований по выделению белковой массы из кукурузного экстракта [Текст] /Утолин В.В. // Сб.: Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Владимира Федоровича Некрашевича. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2011. – С. 118-120.

28. Утолин, В.В. Теоретическое обоснование процесса нагревания сгущенного кукурузного экстракта в нейтрализаторе [Текст] /Утолин В.В. // Сб.: Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Владимира Федоровича Некрашевича. – Рязань: ФГОУ ВО РГАТУ, 2011. – С. 165-168.

29. Утолин, В.В. Классификация дозаторов кормов [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков // Сб.: Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК. Сборник научных трудов преподавателей и аспирантов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань: Издательство ФГОУ ВО РГАТУ, 2012. – С. 100-103.

30. Утолин, В.В. Лабораторный макет дозирующего устройства смесителя кормов [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселев // Сб.: Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство ФГОУ ВО РГАТУ, 2013. – С. 109-111.

31. Утолин, В.В. Смеситель-дозатор для приготовления кормов сельскохозяйственным животным [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселев // Сб.: Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития. Международная научно-практическая конференция. – Рязань: Издательство ФГОУ ВО РГАТУ, 2013. – С. 64-66.

32. Утолин, В.В. Технология и смеситель для приготовления сухого кукурузного корма [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Сергеев // Сб.: Исследования молодых ученых – аграрному производству. Материалы онлайн-конференции, посвященной Дню российской науки. Ассоциация аграрных вузов ЦФО. – Рязань: Издательство ФГОУ ВО РГАТУ, 2015. С. – 124-126.

33. Смеситель [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.Е. Гришков, А.Н. Топильский // Сб.: Аграрная наука – сельскому хозяйству сборник статей: в 3 книгах. – Барнаул, 2015. – С. 55-56.

34. Энергосберегающая технология сгущения кукурузного экстракта [Текст] / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.Е. Гришков, А.Н. Топильский // Сб.: Аграрная наука - сельскому хозяйству сборник статей: в 3 книгах. – Барнаул, 2015. – С. 56-58.

35. Утолин, В.В. Линия приготовления кукурузного корма [Текст] / Е.Е. Гришков, В.В. Утолин // Сб.: Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона. Материалы 66-й международной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство ФГОУ ВО РГАТУ, 2015. – С. 102-105.

36. Утолин, В.В. Анализ конструкций смесителей / В. В. Утолин, Е. Е. Гришков, Н.Е. Лузгин и др. // В сб.: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса: Материалы Национальной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2017. - С. 187-194.

37. Обзор смесителей вязких густых сред / Н.Е. Лузгин, В.В. Утолин, В.В. Горшков, Е.С. Лузгина // ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2017. - № 1 (4). – С. 72-78.

38. Комбикормовый агрегат / В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин, В.И. Гриньков, А.В. Байдов // В сб.: Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых: Материалы научно-практической конференции с международным участием. ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2018. – С. 36-40.

39. Утолин, В.В. Смеситель кормов [Текст] / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.В. Паршина // Сб.: Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2018. – С. 348-352.

40. Обоснование параметров барабанного дозатора [Текст] / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, В.А. Хрипин, и др. // Сб.: Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В.: Издательство ФГБОУ ВО РГАТУ 2019. – С. 202-206.

41. Утолин, В.В. Планирование эксперимента в инженерно-технической сфере АПК с использованием компьютерной программы "Mathematica"/ Утолин В.В., В.М. Ульянов, В.А. Хрипин и др. // В сб.: Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: материалы Национальной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО РГАТУ.– 2019.– С. 475-480.

42. Утолин, В.В. Определение производительности смесителя кормов / В.В. Утолин, Н.А. Куликова, Я.А. Харькин // В сб.: Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения: Материалы 71-й Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2020. – С. 134-138.

*Отпечатано с готового оригинал-макета.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л.2,4 Тираж 120 экз. Заказ № 1506
подписано в печать 26.04.2022*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий*

*ФГБОУ ВО РГАТУ
390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1*