

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева"

На правах рукописи

Утолин Владимир Валентинович



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

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.20.01 - ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор В.М. Ульянов

Рязань – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	7
Глава 1. Состояние проблемы использования побочных продуктов крахмалопаточных предприятий. Цель и задачи исследований	16
1.1 Анализ побочных продуктов крахмалопаточного производства	16
1.2 Крахмалопаточные предприятия как источники загрязнений окружающей среды	19
1.3. Анализ существующих способов приготовления кормов из ППКПП	21
1.4. Анализ технических средств приготовления кормов из ППКПП	33
1.5. Анализ результатов исследований смешивания кормов	44
1.6. Постановка проблемы, цель работы и задачи исследования	59
Глава 2. Теоретическое обоснование технологии и технических средств приготовления ВКК из ППКПП	63
2.1 Технологии приготовления ВКК из ППКПП	63
2.2 Технические средства для реализации разработанной технологии	70
2.2.1 Нейтрализатор СКЭ	70
2.2.2 Шнеко-лопастной смеситель	72
2.2.3 Спиральный смеситель	74
2.3 Теоретическое обоснование процессов и параметров технических средств приготовления кормов из ППКПП	76
2.3.1 Теоретическое обоснование процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе	76
2.3.2. Обоснование конструктивно-технологических параметров нейтрализатора СКЭ	85
2.3.3 Теоретическое обоснование технологического процесса шнеко-лопастного смесителя	89
2.3.4 Теоретическое обоснование параметров спирального смесителя	115
Выводы по второй главе	148

Глава 3. Программы и методики исследований	150
3.1 Программа исследований физико-механических и теплофизических свойств ППКПП	150
3.2 Методики исследования физико-механических и теплофизических свойств ППКПП	150
3.2.1 Определение вязкости СКЭ	151
3.2.2 Определение влияния температуры на липкость СКЭ	152
3.2.3. Определение влияния влажности на объемную массу ППКПП	153
3.2.4 Определение влияния влажности на угол естественного откоса ППКПП	154
3.2.5 Определение влияния влажности на коэффициенты трения ППКПП по стали	155
3.2.6 Исследование влияния влажности на теплофизические свойства ППКПП	156
3.3 Программа исследований технологического процесса нейтрализатора СКЭ	159
3.3.1 Лабораторная установка для исследования технологического процесса нейтрализатора СКЭ	160
3.3.2 Методики однофакторных экспериментов процессов нагревания и нейтрализации СКЭ	162
3.3.3 Методика многофакторного эксперимента процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе	165
3.4 Программа исследований процесса смешивания ОКМ и СКЭ	167
3.4.1 Лабораторная установка для исследования процесса смешивания ОКМ и СКЭ	168
3.4.2 Методики однофакторных экспериментов процесса смешивания ОКМ и СКЭ	173
3.4.3 Методике многофакторного эксперимента процесса смешивания СКЭ и ОКМ в спиральном смесителе	177
3.5 Программа исследований процесса приготовления СКК	179
3.5.1 Лабораторная установка исследования процесса приготовления	180

СКК	
3.5.2 Методики однофакторных экспериментов процесса приготовления СКК	185
3.5.3 Методика многофакторного эксперимента процесса приготовления СКК	189
3.6 Программа и методика производственных испытаний	192
3.6.1 Программа и методика производственных испытаний технологии приготовления ВКК	192
3.6.2 Программа и методика производственных испытаний спирального смесителя	193
3.6.3 Программа и методика исследований эффективности использования ВКК и СКК в рационах кормления сельскохозяйственных животных	194
Глава 4. Результаты экспериментальных исследований	197
4.1. Результаты исследования физико-механических и теплофизических свойств ППКПП	197
4.1.1. Влияние температуры СКЭ на его вязкость	197
4.1.2. Влияние температуры СКЭ на его липкость	198
4.1.3 Влияние влажности СКЭ на его плотность	199
4.1.4 Влияние влажности ВКК на его объемную массу и угол естественного откоса	200
4.1.5 Влияние влажности на объемную массу ППКПП	201
4.1.6 Влияние влажности на угол естественного откоса ППКПП	202
4.1.7 Влияние влажности на коэффициенты трения ВКК	203
4.1.8 Влияние влажности на теплофизические свойства СКЭ и ВКК	204
4.2. Результаты экспериментальных исследований процессов нагревания и нейтрализации кислотности СКЭ	206
4.2.1. Влияние толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора на время нагревания СКЭ	207
4.2.2. Влияние подачи насоса на время нагревания СКЭ в нейтрализаторе	208

	5
4.2.3. Влияние подачи насоса на процесс нейтрализации кислотности СКЭ	209
4.2.4 Обоснование рациональных параметров нейтрализатора кислотности СКЭ	212
4.3. Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления ВКК	217
4.3.1 Влияние частоты вращения рабочего органа на производительность шнеко-лопастного смесителя	218
4.3.2 Влияние массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа на его амплитуду перемещения	219
4.3.3 Влияние частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса СКЭ	220
4.3.4 Обоснование рациональных параметров шнеко-лопастного смесителя	222
4.4 Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления СКК	229
4.4.1 Влияние частоты рабочего органа на производительность и удельные затраты энергии спирального смесителя	229
4.4.2 Влияние шага спирали на производительность и удельные затраты энергии смесителя	231
4.4.3 Влияние эксцентриситета установки спирали на производительность и удельные затраты энергии спирального смесителя	232
4.4.4 Обоснование рациональных параметров спирального смесителя	233
4.5 Сходимость теоретических и экспериментальных результатов проведенных исследований	240
Выводы по четвертой главе	242
Глава 5. Результаты внедрения в производство и оценка экономической эффективности разработанной технологии	246
5.1 Результаты внедрения в производство технологии приготовления ВКК и эффективность их использования	246

5.1.1 Результаты внедрения технологии и средств механизации приготовления ВКК	246
5.1.2 Результаты эффективности использования ВКК	254
5.2 Результаты внедрения в производство спирального смесителя СКК и эффективность их использования	256
5.2.1 Производственный образец спирального смесителя	256
5.2.2 Результаты внедрения спирального смесителя в технологическую линию приготовления СКК	257
5.2.3 Результаты эффективности использования СКК	260
5.2.4 Результаты внедрения спирального смесителя в технологическую линию прессования СКК	261
5.2.5 Результаты эффективности использования гранулированного СКК	265
5.3 Результаты экологических исследований	266
5.4 Оценка экономической эффективности результатов исследования	269
5.4.1 Экономическая эффективность технологии приготовления ВКК и их использования	269
5.4.2 Экономическая эффективность спирального смесителя СКК и их использования	276
Выводы по пятой главе	279
Заключение	281
Список литературы	287
Приложения	313

Введение

Актуальность темы. При переработке кукурузы на крахмал и 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 у производителей сельскохозяйственной продукции. 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 до 50% белка, токоферолы, тиамин, рибофлавин, пиридоксин, биотин, 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, 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. Кормановского, 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. Vaars, 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. Кудряшов, Н. Д. Лукина, М.В. Орешкиной, А.А. Полункина, О.И. Радина, В.С. Расторгуев, В.Н. Романенко, Н.Н. Селезневой, Н.Н. Сорокиной, В.М. Ульянова, Н.И. Филиповой и других 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», 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 схема 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 схема 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, из побочных продуктов крахмалопаточного производства приготовленный 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 «Новый путь», ООО «Рассвет», ЗАО «Малино», ООО «Агроиппекс», ООО «Сельхозпродукты», ЗАО «ВМК – Астапово», СПК «Дмитревы 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 ВНИИкрахмалопродуктов Россельхозакадемии (г. Коренёво, 2010 г.); Мордовского ГУ (г. Саранск, 2012 г.); Орловского ГАУ (г. Орел, 2012 г.); Алтайского ГАУ (г. Барнаул 2014 г.); Мичуринского ГАУ (г. Мичуринск, 2012 г.), Белгородского ГАУ (г. Белгород, 2015 г.); Алтайского ГАУ (г. Барнаул, 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 диссертационной работы изложены в 62 печатных работах, в том числе 12 опубликованных в научных журналах, включенных в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 3 включенных в международные наукометрические базы цитирования *Web of Science*, *Scopus* и 8 патентах РФ. 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 состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 235 источников и приложений. Работа изложена на 312 страницах основного текста, имеет 152 рисунка и 18 таблиц.

Автор выражает признательность научному консультанту доктору технических наук, профессору Ульянову Вячеславу Михайловичу за оказанную помощь в выполнении диссертационной работы, а также благодарность за сотрудничество, при выполнении научных исследований, кандидату технических наук Конькову Михаилу Анатольевичу, кандидату технических наук Полункину Андрею Алексеевичу, кандидату технических наук Гришкову Евгению Евгеньевичу и сотрудникам кафедры технических систем в АПК ФГБОУ ВО РГАТУ.

Глава 1. Состояние проблемы использования побочных продуктов крахмалопаточных предприятий. Цель и задачи исследований

1.1 Анализ побочных продуктов крахмалопаточного производства

На перерабатывающих предприятиях в Российской Федерации крахмал получают из пшеницы, картофеля и кукурузы.

При выработке крахмала из картофеля в качестве побочных продуктов будут картофельная мезга и сок, который часто подвергается разбавлению водой.

Побочными продуктами, при переработке картофеля на крахмал являются сок и мезга, состав которых представлен в приложении А (таблицы А1 и А2). Для кормления сельскохозяйственных животных использовалась в основном картофельная мезга, кормовая ценность которой 1,1 к.е. в пересчете на абсолютно сухое вещество.

В настоящее время в Российской Федерации доля картофельного крахмала составляет менее 10% [88].

Побочные продукты переработки пшеницы на крахмал, используются в нашей стране в незначительных объемах, в основном они экспортируются за рубеж.

Приоритетным сырьем крахмалопаточной промышленности нашей страны является зерно кукурузы. При переработке зерна кукурузы на крахмал, патоку и масло побочными продуктами являются зародыш, глютен, мезга, экстракт. Из зародыша производят кукурузное масло и жмых. Глютен является белком и широко используется в пищевой промышленности, а также используется в качестве компонентов при приготовлении кормов для птицы и домашних животных [6, 7, 43, 56, 87, 101, 145].

При решении вопроса об использовании побочной продукции крахмалопаточного производства и утилизации стоков, нужно исходить из снижения себестоимости основной продукции за счет дополнительного дохода от реализации побочной при снижении экологического ущерба окружающей среде. Наиболее рационально использовать побочные продукты крахмалопаточного производства для кормления животных.

В рационах кормления сельскохозяйственных животных наибольшее применение нашли побочные продукты крахмалопаточного производства (далее по

тексту ППКПП) отжатая кукурузная мезга (ОКМ) и сгущенный кукурузный экстракт (СКЭ).

ОКМ в основном состоит из измельченной эндоспермы и оболочки зерна и преимущественно содержит крахмал до 12 % (приложение А, таблиц А3). Наиболее ценными компонентами в ОКМ являются клетчатка, крахмал и белок [49, 69, 70, 145, 156, 226].

Начальным этапом переработки зерна является ее замачивание в растворе сернистой кислоты, в результате растворимые вещества переходят в жидкость, которая является кукурузным экстрактом ($W=91...94\%$). Затем экстракт концентрируется до влажности $W = 52...60\%$ на паровых вакуумных установках. СКЭ это густая жидкая субстанция способная к расщеплению, его кормовая ценность заключается в содержании белков, жиров, углеводов и органических кислот (приложение А, таблица А4) [6, 15, 25, 70, 87, 145, 179, 216]. При этом существуют альтернативные способы сгущения экстракта [124, 160, 181, 183, 190, 198].

Существенным недостатком СКЭ является высокая кислотность рН 4,2...4,4 обусловленная высоким содержанием органических кислот до 34% [145].

Анализ ППКПП показал, что они являются ценными компонентами кормовой смеси сельскохозяйственных животных. ОКМ может быть использована как самостоятельный корм, или в составе кормосмеси. СКЭ имеет ограниченное применения из-за высокой кислотности, не смотря на высокую кормовую ценность. Использование кормов с высокой кислотностью нарушает кислотно-щелочной баланс организма животного и ведет к негативным последствиям.

При смешивании ОКМ и СКЭ получают влажные кукурузные корма (далее по тексту ВКК) ($W= 65...67\%$). Они обладают высокой кормовой ценностью - 1,2 к.е. (в пересчете на абсолютно сухое вещество), которая характеризуется содержанием протеина - 71-82%, жира - 5...6% и клетчатки 9...10% [68, 87, 220]. При этом протеин кукурузный усваивается в пять раз лучше, чем соевый [44, 68, 221]. Подробный состав сырого корма приготовленного из ППКПП представлен в приложении А, таблица А5. Как показывает анализ химического состава ВКК

приготовленного путем смешивания ОКМ и СКЭ не решает проблему высокой кислотности последнего.

Мировая тенденция использования ППКПП взамен зерновых кормов в сухом и влажном виде.

Сухие кукурузные корма (далее по тексту СКК), приготовленные из ППКПП, обладают существенными преимуществами, большим сроком хранения, возможность транспортировки на большие расстояния, широким диапазоном применения. При этом они имеют высокую себестоимость, вследствие необходимости испарения большого количества воды. Использование СКК из ППКПП также ограничено зоотехническими требованиями из-за высокой кислотности. Так как имеющие в своем составе органические кислоты при попадании в желудок животного и взаимодействии с водой приводит к отрицательным воздействием на организм животного. Кроме того при сушке часть полезных веществ ППКПП будут безвозвратно потеряны.

Отечественные производители животноводческой продукции, начиная с середины прошлого века, широко применяли ППКПП во влажном виде для кормления крупного рогатого скота при производстве говядины.

Эффективность использование влажного корма приготовленного из ППКПП доказана наукой и практикой. По данным выполненных исследований без ущерба для продуктивности и здоровья дойных коров возможно использование влажного корма взамен 50% концентратов, при этом не более 6 кг на голову [8, 67, 106]. Так же доказана высокая эффективности использования ППКПП в рационах кормления свиней [16, 145].

При всех указанных выше достоинствах ВКК и СКК, приготовленных из ППКПП для повышения эффективности их использования необходимо решить проблему высокой кислотности.

На данный момент времени наиболее рациональным решением является приготовление и использование ВКК, соответствующих зоотехническим требованиям. Это позволит решить проблему дефицита протеиновых кормов в рационах кормления крупного рогатого скота, при минимальных затратах [10, 68, 145].

1.2 Крахмалопаточные предприятия как источники загрязнений окружающей среды

Распад СССР плачевно отразился на крахмалопаточной промышленности. Произошло резкое сокращение предприятий, особенно перерабатывающих картофель на крахмал. В настоящее время Российская индустрия производителей крахмала состоит из 23 предприятий, среди которых 10 можно отнести к наиболее крупным. Годовая переработка сырья на крахмал в РФ оценивается в 1,5 млн. тонн. Основными культурами являются кукуруза (около 1 млн. тонн), пшеница (около 0,5 млн. тонн) и картофель (около 0,1 млн. тонн).

В Рязанской области находится одно из крупнейших предприятий по производству крахмалопаточной продукции в Российской Федерации ОАО «Ибретькрахмалпатока». Проведенная реконструкция основного предприятия позволила значительно увеличить объемы производства и занять передовые позиции. Кроме того реконструкция предприятия позволила значительно увеличить ассортимент производимой продукции, в частности освоить производство востребованных сиропов глюкозно-фруктозных и мальтозных.

Объем глубокой переработки зерна кукурузы ОАО «Ибретькрахмалпатока» в 2019 году относительно 2017 года повысился в 2,3 раза.

Производительность по перерабатываемому объему зерна кукурузы ОАО «Ибретькрахмалпатока» в 2019 году составила 450 тон/сут., что в среднем соответствует 165 500 тон/год. Это обеспечивает сельскохозяйственным товаропроизводителям гарантированный сбыт выращенной продукции. Особый интерес экологических служб региона обращен на степень техногенного воздействия крахмалопаточного предприятия, на реку Ибреть, в бассейне которой оно размещен.

Основное негативное воздействия ОАО «Ибретькрахмалпатока» на окружающую среду происходит за счет использованной в производстве воды (сточные воды). Большая часть сточной воды образуется при замочке зерна кукурузы, гидротранспорте и промывке сырья. Сбрасываемые сточные воды в пруды-отстойники и фильтрационные поля имеют высокое содержание взвешенных органических веществ. Нередко из-за длительного использования фильтрационных

полей, сточными водами наполняются близлежащие водоемы. Норма биологической потребности в кислороде (БПК) – 5,3 тыс. мг O_2 /л, химическая потребность в кислороде (ХПК) – 2,9. Сточные воды быстро истощают запасы кислорода в водоемах, что приводит к уничтожению обитателей этих водоемов.

Виды и количество экологических сбросов предприятия зависят от используемой технологии и существующих очистных сооружений. Крахмалопаточные предприятия при производстве одной тонны сухого картофельного крахмала сбрасывают 200 м^3 , кукурузного – 150 м^3 /т.

При производстве крахмала сточные воды имеют взвешенных веществ 1500-5000 мг/л, среднюю минерализацию 1800-3500 мг/л, бикарбонатно-сульфатный состав, кислую реакцию среды, $pH=4,2-4,8$. Содержание азота в среднем составляет 120 мг/л, калия – 300, фосфора – 15, кальция – 80 мг/л [3,8]. Состав сточных вод непостоянен, с большой амплитудой колебания.

Общий сток подобных крахмалопаточных предприятий можно охарактеризовать: взвешенные вещества 2500 ... 18000 мг/л, БПК_{полн} – 1100...1500 мг/л. При этом состав взвешенных веществ, мг/л, составляет: общее количество взвешенных веществ, 2800 мг/л, из этого: органических – 1700, азота, фосфора и калия соответственно: 300, 100, и 600. При этом следует отметить что, данные стоки имеют значительное количество органических, поддающихся биологической (биохимической) очистке загрязнений.

Концентрация углеводов и белков у них выше, чем у хозяйственно-бытовых сточных вод. Они мало прозрачны в свежем состоянии, имеют слабощелочную, редко кислую реакцию среды. Снижение pH может быть за счет развития в сточных водах брожения. Разложение белков сопровождается выделением сероводорода.

Лидером по количеству сточных вод при производстве крахмала является кукуруза. Так при выработке крахмала из кукурузы сточные воды производства доходят до 30 м^3 на 1 т крахмала. Сюда не входят сточные воды предварительной обработки зерна, т.е. от его замочки и набухания, так как они проходят обработку в выпарных аппаратах с последующим использованием па корм скоту или как исходное сырье для производства пенициллина.

Значительная часть воды крахмалопаточными предприятиями используется в теплообменных процессах. В данном случае расход воды зависит от схемы водоснабжения. Минимизировать расход воды возможно путем обеспечения ее рециркуляции и многократного ее использования.

Обеспечение рециркуляции воды в производстве позволяет значительно сократить расходы на производство и количество сточных вод. Кроме того значительно сократить расходы на очистительные сооружения.

Среднее количество сточных вод на производства одной тонны крахмала составляет 15 м^3 , из которых 3 м^3 – производственные стоки, 2 м^3 – хозяйственно-бытовые, 10 м^3 – условно чистые [7, 25,36].

Среднее количество сточных вод приходящиеся на одну тонны патоки составляет 34 м^3 . Данное количество сточных вод можно разделить: 5 м^3 – производственные стоки, 1 м^3 – хозяйственно-бытовые, при этом 28 м^3 – являются условно чистыми [25].

Анализ химического состава сточных вод ОАО «Ибредькрахмалпатока» позволяет предположить что их, возможно, использовать в сельскохозяйственном производстве в качестве минеральных удобрений и осуществлять орошение. Однако учитывая объемы производства предприятия, потребуется огромная площадь под орошение. И встает вопрос транспортировки сточных вод. Поэтому рациональным решением будет сокращение количества стоков, в частности воды используемой для замачивания зерна кукурузы, путем использования кукурузного экстракт для приготовления кукурузных кормов.

1.3 Анализ способов приготовления кормов из ППКП

Применяемые технологии использования ППКП в качестве кормов сельскохозяйственным животным можно разделить на две основные группы. Первая группа – приготовление ВКК, вторая – СКК.

В 70...80-х годах прошлого столетия для эффективного использования ППКП вблизи перерабатывающего производства строились и в дальнейшем функционировали сельскохозяйственные предприятия по откорму молодняка крупного рогатого скота. Обезвоженная до влажности 60...65% на дуговых ситах или

прессах мезга с крахмального производства отгружалась потребителю и доставлялась к месту скармливания автотракторным транспортом или перекачивалась по трубопроводам.

Однако данный вид корма не сбалансирован по питательным веществам и имеет высокую кислотность с преобладанием клетчатки. Поэтому рацион следовало обогащать недостающими компонентами.

М.В. Орешкиной и В.М. Ульяновым была разработана технология использования отходов переработки картофеля на корм скоту [114, 170]. Предложенная технология не может быть реализована при использовании ППКПП, так как их химический состав и физическое состояние имеют существенные различия. Использование результатов данного исследования по прямому назначению так же невозможно, в настоящее время производство крахмала из картофеля в РФ практически отсутствует.

В конце 70 х годов прошлого столетия предложена технология использования ППКПП заключающаяся в дозировании и смешивании СКЭ с ОКМ с добавлением жмыха и пелевы [145]. Данная технологическая схема представлена на рисунке 1.1. ППКПП, жмых и пелера из бункеров накопителей 1, 2, и 3 дозировано подаются в смеситель 4. Далее готовый корм поступает в бункер временного накопления 5, из которого отгружается в транспортные средства.

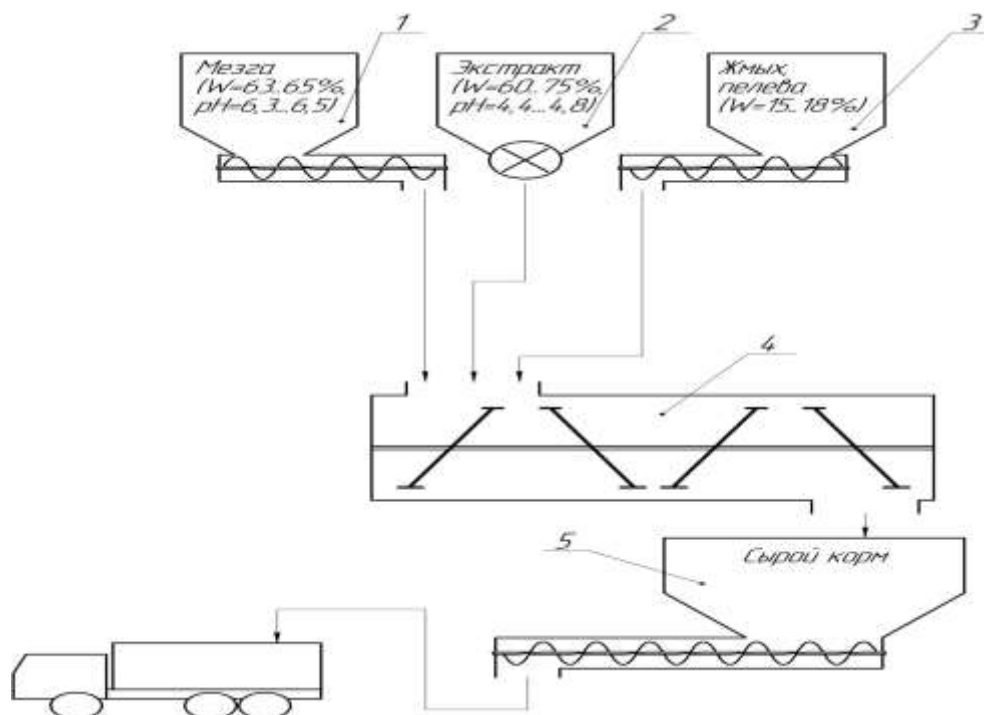
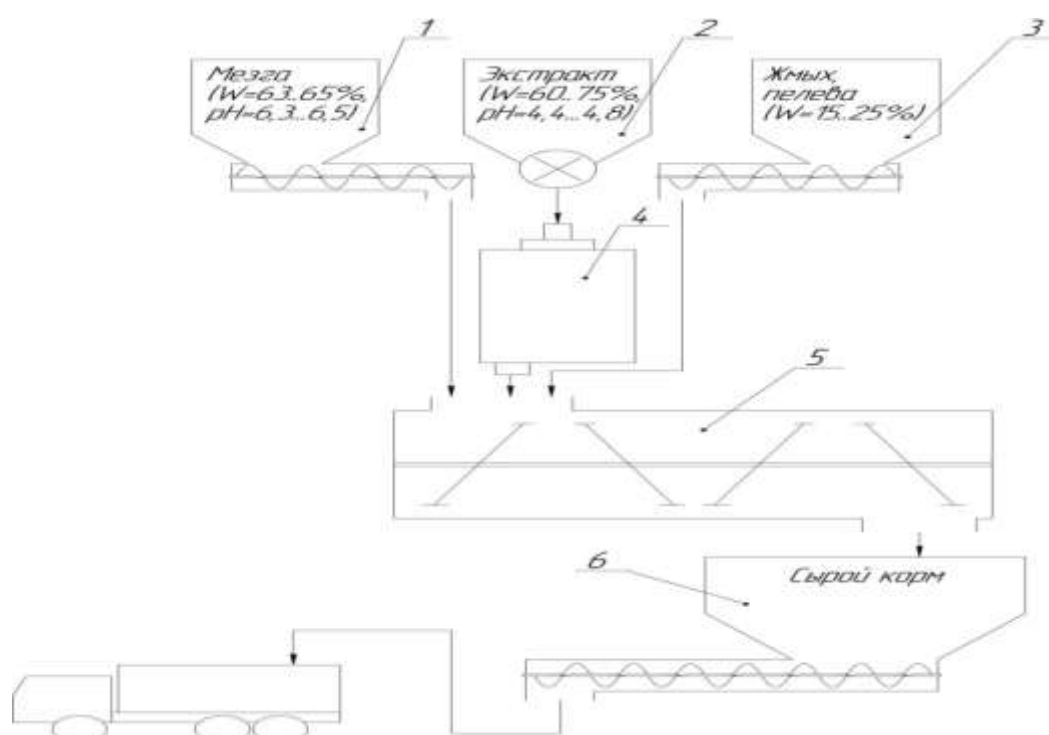


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства корма из ППКПП.

Полученный сырой корм обладает высокой кормовой ценностью. Серьёзным недостатком является высокая кислотность (рН 4,0..4,4) кормовой смеси вследствие значительного количества органических кислот в СКЭ, что ограничивает его применение.

В кормоприготовлении известны способы снижения кислотности путем добавления реагента, в качестве которого используют оксиды и гидроксиды кальция, натрия, а также мела и аммиака.

Известен способ приготовления корма из ППКПП с предварительной нейтрализацией СКЭ представленный на рисунке 1.2 [29, 36].



1 – бункер –дозатор ОКМ, 2 – бункер-дозатор СКЭ. 3 – бункер-дозатор жмыха и пелёвы, 4 – ёмкость для нейтрализации СКЭ, 5 – смеситель, 6 – бункер накопитель ВКК.

Рисунок 1.2 – Технологическая схема производства корма из ППКПП.

В отличие от выше изложенного способа, предварительно осуществляется нейтрализация кислотности СКЭ путем добавления реагента. Затем происходит смешивание, накопление и отгрузка.

В данной технологии проблема высокой кислотности решается не полностью. Снизить кислотность известными реагентами и получить корма соответствующие зоотехническим требованиям не представляется возможным. При полной нейтрализации кислотности СКЭ происходит превышение допустимых норм

содержание микроэлементов в приготавливаемом корме. При использовании мела и аммиака образуется буферный раствор и при дальнейшем добавлении реагента кислотность не снижается. Дополнительным препятствием использования мела и аммиака в качестве реагентов является образование пены при нейтрализации кислотности СКЭ.

Для использования ППКПП возможно использовать технологию, предложенную для производства белково-крахмального корма П.Г. Гилядовым, А.Н. Богдановым и др. [127].

Жидкие компоненты, в том числе и СКЭ смешиваются, после чего определяется их фактическая кислотность или щелочность. В зависимости от результата в смесь добавляют реагент в виде кислотного или щелочного раствора тем самым достигается показатель рН в диапазоне 6,0 ... 6,5 [127]. Полученную жидкую фракцию фильтруют. Осадок удаляют. Оставшуюся жидкость сгущают и смешивают с остальными компонентами, сушат и фасуют. В данном случае, возможно, получить корм с высокой питательной ценностью и удовлетворяющий зоотехническим требованиям. При высоком качестве получаемого корма следует отметить сложность производства и необходимости большого количества оборудования. Учитывая большие объемы ППКПП применение данного способа проблематично.

Известен способ переработки побочных продуктов пищевых и перерабатывающих производств реализованный ЗАО «Биокомплекс» (рис.1.3) [151]. Технология заключается в обработке побочных продуктов ферментами. При ферментации разрушается структура содержащихся веществ с образованием простых полисахаридов, из которых в дальнейшем образуется легкоусвояемый углеводно-белковый компонент. Приготовление углеводно-белкового компонента происходит следующим образом. Линии приема рассыпного и жидкого сырья 1, 2 принимают компоненты, и направляют их в бункеры дозаторы 3. Далее сырьё дозировано подается в смеситель 4, после чего загружаются в биологический реактор 5, добавляются ферменты. В течение всего времени ферментации в реактор подается воздух компрессором 6, а заданная температура поддерживается с помощью парогенератора 7. Масса в биологическом реакторе находится от пяти до

шести дней. После выгрузки биологических реакторов полученный углеводно-белковый концентрат направляется в сушилку 8, потом в измельчитель 9 и фасуется в мешки 10.

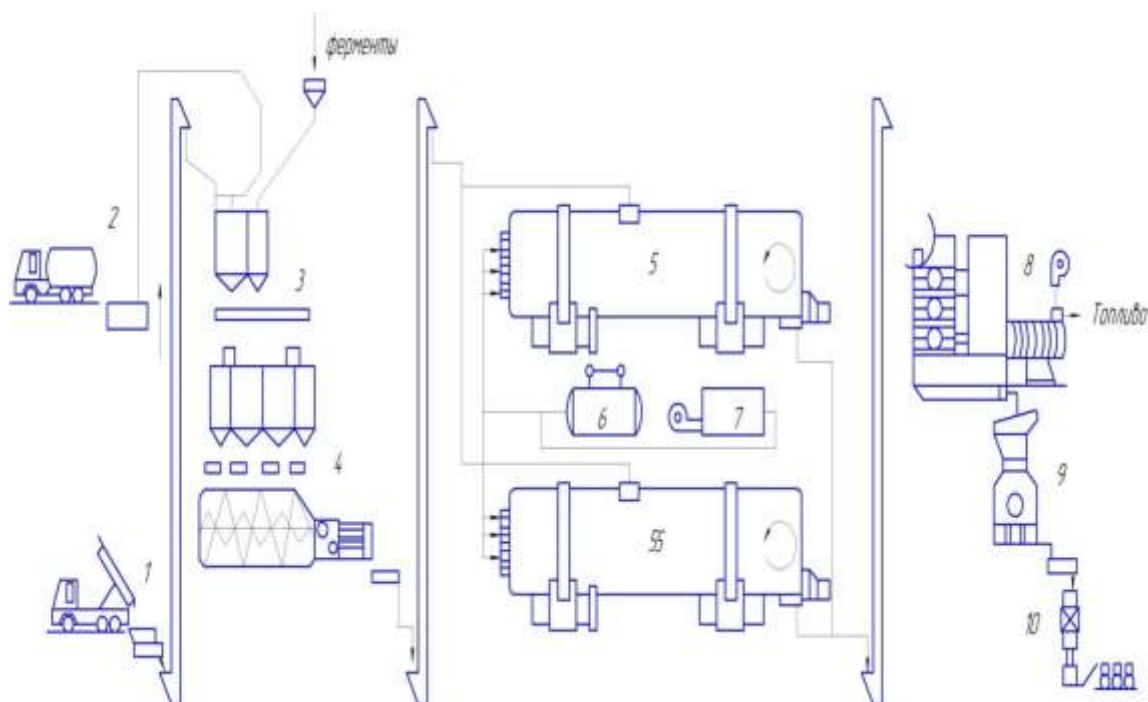


Рисунок 1.3 – Технологическая схема производства углеводно-белкового компонента.

Следует отметить, что применение данной технологии позволят производить, ценный для животноводства продукт – углеводно-белковый концентрат, использование которого позволяет балансировать рацион кормления. Изменяя технологические режимы данного оборудования, возможно, получать продукт с требуемыми характеристиками.

При переработке ППКПП по данному способу возникает ряд проблем. В частности малую часть от общего количества ППКПП возможно перерабатывать и получать углеводно-белковый концентрат. Весь объем ППКПП перерабатывать подобным образом не представляется возможным. Из-за длительности и достаточной сложности процесса.

При переработке картофеля на крахмал использовали способ сушки мезги дымовыми газами [114]. Оборудование данной технологической линии производилось серийно промышленностью, ее максимальная производительность составляла около 6 тон/сут.

Следует обратить внимание, данное оборудование обеспечивает, сушку только картофельной мезги, при этом более ценный продукт картофельный сок в данном случае не используется.

Сушка мезги осуществляется следующим образом (рис. 1.4). Мезга непосредственно с производства направляется на пресс 1, где отжимается до влажности $W = 82 \dots 82 \%$, затем через шнек 2, роторный питатель 3 и забрасыватель 4 попадает в сушилку 5. Где происходит сушка дымовыми газами с начальной температурой $350 \dots 450 \text{ }^\circ\text{C}$. В качестве предохранителя в сушилке установлен клапан 6. После сушилки 5 с помощью циклона 7 вся масса разделяется, сухая мезга направляется через шлюзовый затвор 8 и шнек 9 на фасовку 11. Отработанные дымовые газы удаляются из циклона 7 вентилятором 10. [145].

Данный способ имеет узконаправленное применение, а применение его в настоящее время является не рациональным из-за высоких затрат на топливо. Это происходит из-за того, что мезга поступает в сушилку с высокой влажностью, это влечет большой расход топлива на дымовые газы. Так же вызывает сомнения в ценности получаемого продукта, как было сказано выше, сушится только картофельная мезга с содержанием крахмала около 40%. При заявленной температуре сушке произойдет клейстеризация крахмала с последующим образованием комков.

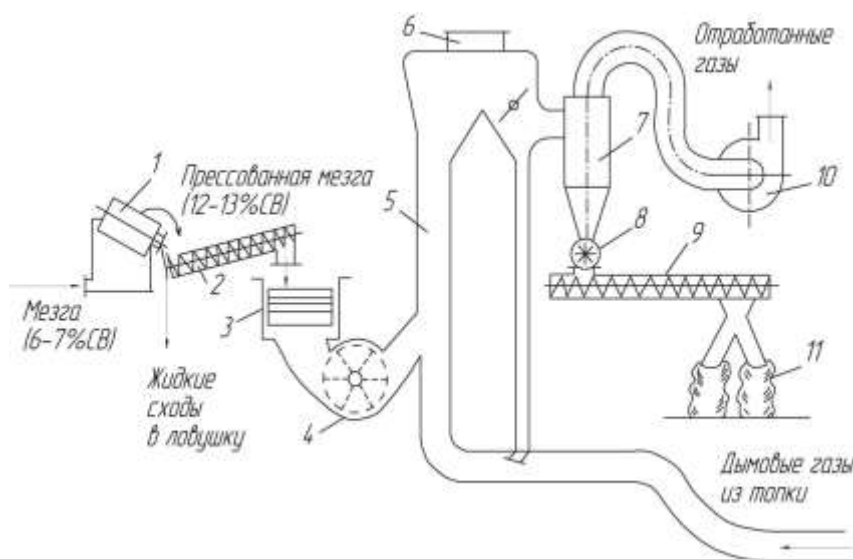


Рисунок 1.4 – Способ сушки картофельной мезги.

Более современный способ приготовления корма из ППКПП представлен на рисунке 1.5 [36]. Для приготовления корма используется СКЭ, ОКМ и глютен.

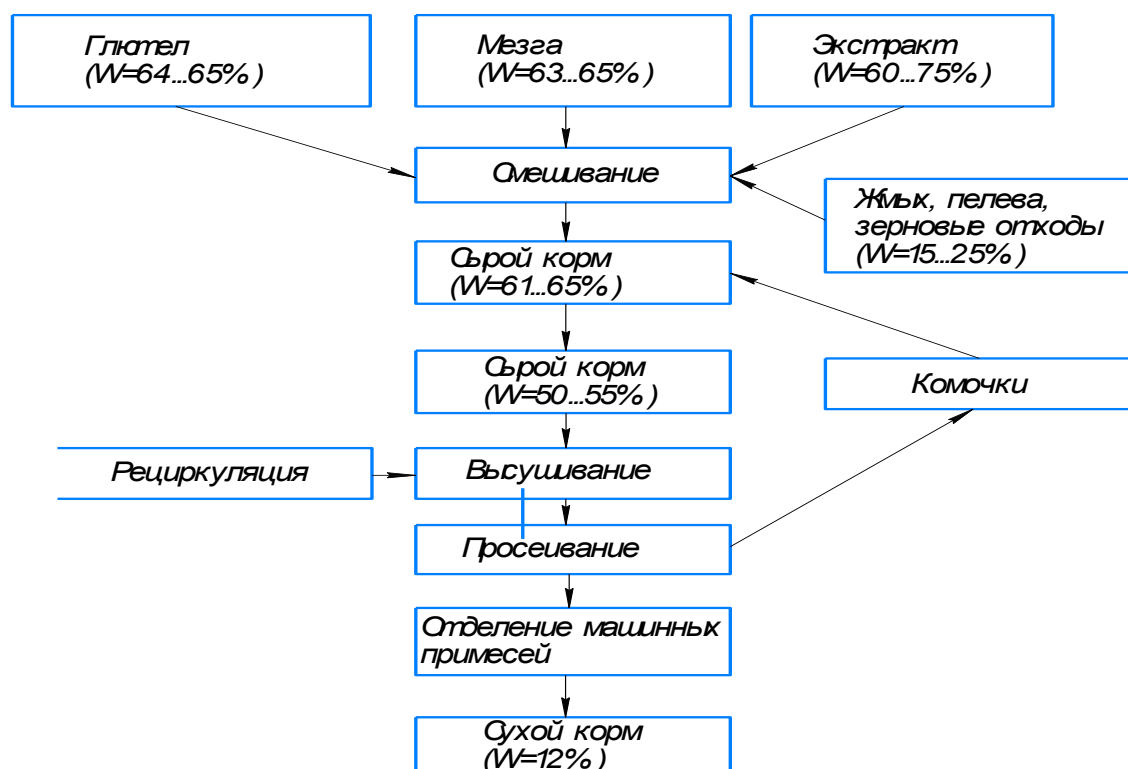


Рисунок 1.5 – Способ производства СКК из ППКПП с применением одноступенчатой сушке.

Способ заключается в смешивании СКЭ, ОКМ и глютена, с последующей одноступенчатой сушкой. Положительной стороной данного способа является наличие рециркуляции теплоносителя. На практике данный способ приготовления кормов из ППКПП зарекомендовал себя негативно. При смешивании ППКПП из-за различных физико-механических свойств ОКМ и СКЭ происходит образование большого количества комков, которые в сушилке обугливаются.

Из выше представленного материала следует вывод, что применять одноступенчатую сушку ППКПП является не рациональным решением.

Известен способ приготовления СКК из ППКПП с применением двухступенчатой сушки [36].

В данном случае (рис. 1.6) используются те же компоненты что и в предыдущем способе.

Основным отличием является наличие двух барабанных сушилок, в первой происходит подсушивание ППКПП до влажности 27 ...33%, во второй – до 12... 14%. Между сушилками устанавливается измельчитель, он позволяет разрушать комки, образуемые при первой ступени сушки. По нашему мнению данный способ вполне работоспособен и может быть применен для приготовления СКК из СКЭ,

ОКМ и глютена. При этом кислотность корма не изменяется и остается высокой, что ограничит его применение. В настоящее время глютен на крахмалопаточных производствах получают в сухом виде, и поэтому применение его в данных кормах экономически не обосновано. С технической точки зрения для повышения эффективности сушки ППКПП данный способ следовало дополнить системой рециркуляции, чтобы обеспечить частичное подмешивание сухого продукта при входе в первую сушилку.

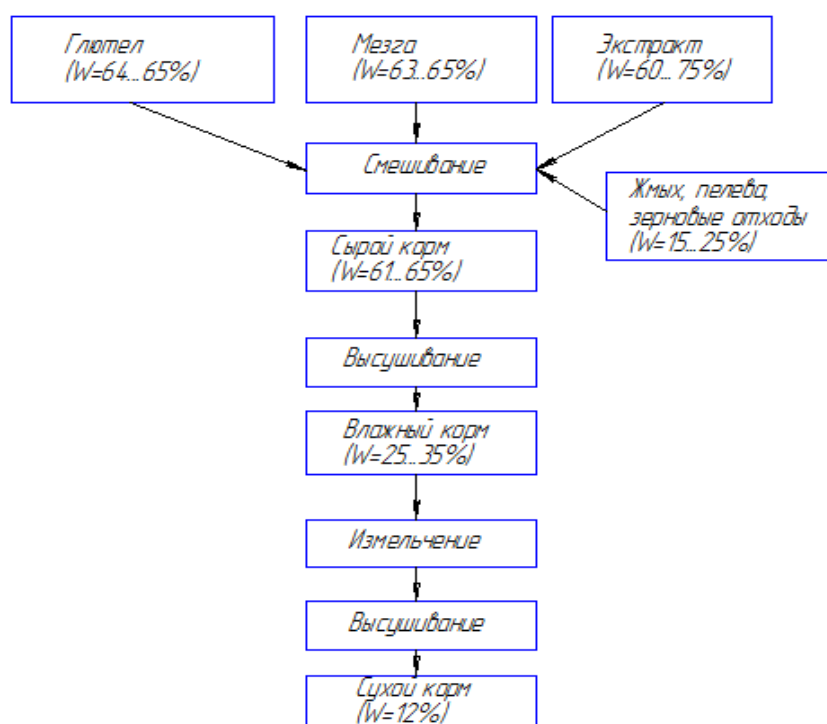


Рисунок 1.6 – Способ приготовления СКК с использованием двухступенчатой сушки.

В качестве недостатка данного способа следует так же отметить высокую кислотность получаемого продукта, приготовление сухих кормов не решают проблему кислотности. При высушивании ППКПП содержащиеся в СКЭ органические кислоты не испаряются, а концентрируются. Приготовленные корма удобно транспортировать и они обладают большим сроком хранения, но при этом наблюдается их слеживаемость и частичная потеря питательной ценности.

С середины прошлого столетия применяются способы улучшения сохранности кормов, в основном это добивается путем прессования.

Гранулирование и брикетирование кормов позволяет повысить их эффективность скармливания, снизить затраты и потери питательных веществ при

хранении, и транспортировке [145]. Структурная схема приготовления гранулированных смесей из ППКПП представлена (рис.1.7).

Данный способ, возможно, осуществить на серийно выпускаемом оборудовании ООО «ДОЗА-АГРО» аналогичном ОГМ – 0,8 и ОГМ - 1,5.

Сухие ППКПП с начальной влажностью 12...14% увлажняют водой или паром и направляют в гранулятор, в котором осуществляется сухое прессование. После гранулятора массу необходимо быстро охладить. В противном случае горячие гранулы насытятся влагой и приобретут способность к самонагреванию. После охлаждения массу разделяю на гранулы и не гранулированный материал, который направляется на повторное прессование. Геометрические параметры гранул зависят от диаметра отверстий матрицы гранулятора, которая выбирается в зависимости от требований потребителя.

ППКПП за счет наличия крахмала хорошо подвергаются гранулированию, в результате получают гранулы высокого качества. В настоящее время данные корма из ППКПП производят в основном крупные зарубежные концерны.

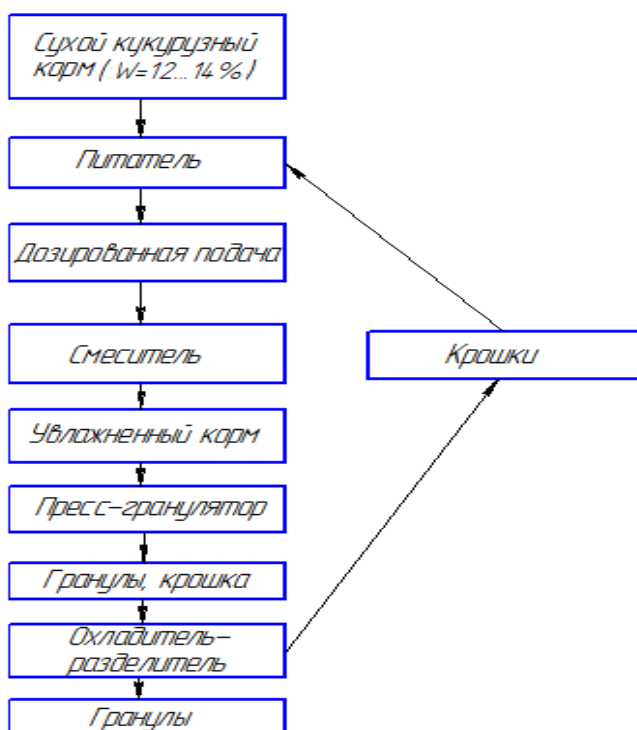


Рисунок 1.7– Способ приготовления гранулирования СКК.

Технология приготовления прессованных кормов из ППКПП разработанная российскими учеными под руководством Е.И. Сизенко представлена на рисунке 1.8 [25]. Сущность метода заключается, в смешивании ППКПП при этом СКЭ

предлагается, использовать в ограниченном количестве предварительно обогатив его солью или мелом.

Приготовление кормов происходит следующим образом. Сухие компоненты ППКПП через измельчитель 1 дозаторы 2 попадают в смеситель 3. Смешанная масса направляется в пресс-гранулятор 4 совместно с подготовленным СКЭ. В данном случае СКЭ используется в качестве увлажнителя. Сгранулированная масса направляется в охладитель 5 и проходит очистку от возможных металлических примесей с помощью магнита 6.

Данная технология позволяет приготавливать корма из ППКПП, а использования СКЭ в качестве обогатительной добавки позволяет получать качественные гранулы. При этом СКЭ используется в ограниченном количестве.

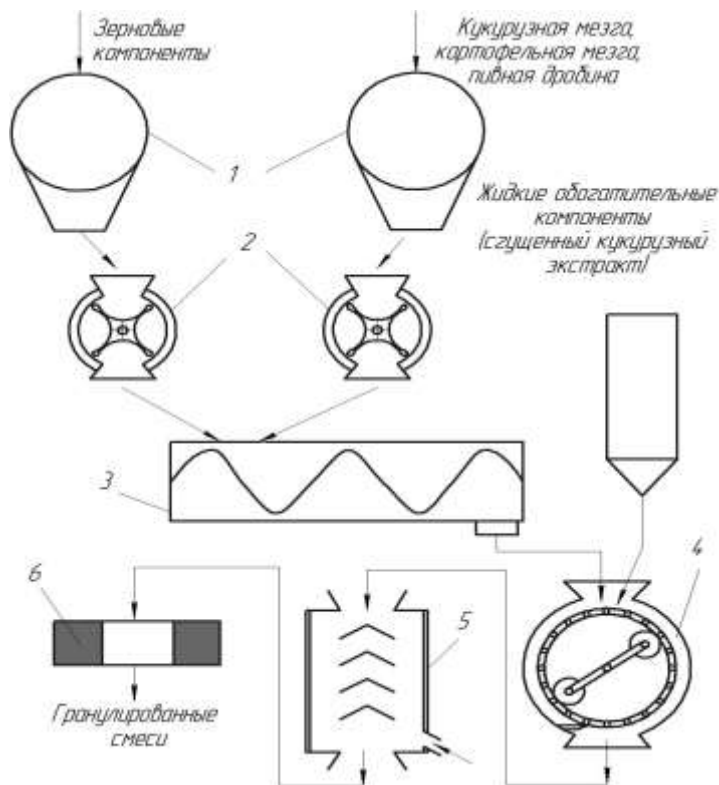


Рисунок 1.8 – Технологическая схема приготовления прессованных кормов из ППКПП разработанная Е.И. Сизенко.

В работах М.Т. Денщикова описан способ приготовления СКК с использованием двухступенчатой сушки (рис. 1.9) [36]. В данном способе используются все производимые ППКПП.

Влажные продукты глютен, мелкая и крупная мезга максимально обезвоживаются на осадительных центрифугах 1. Кислотность СГЭ частично нейтрализуется 2 известковым молочком. После этого ППКПП направляются в

смеситель 3. После смешивания глютен, мезга и СКЭ направляются в сушилку 4. Первая сушилка подсушивает материал до влажности 25...35%. Остатки от початка кукурузы (кочерыжка) измельчаются на дробилке 5 и совместно с подсушенной массой подаются во вторую сушилку. Добавление измельченной кочерыжки дает возможность повысить эффективность второй ступени сушки. После второй сушилки достигается влажность массы 10%. В высушенную массу добавляют жмых и пелеву и направляют на ситовый рассев 6. После ферромагнитного сепаратора 7 готовый корм отправляют на хранение или фасовку. Для исключения спекания массы в данном способе осуществлена рециркуляция части сухого корма на вторую ступень сушки.

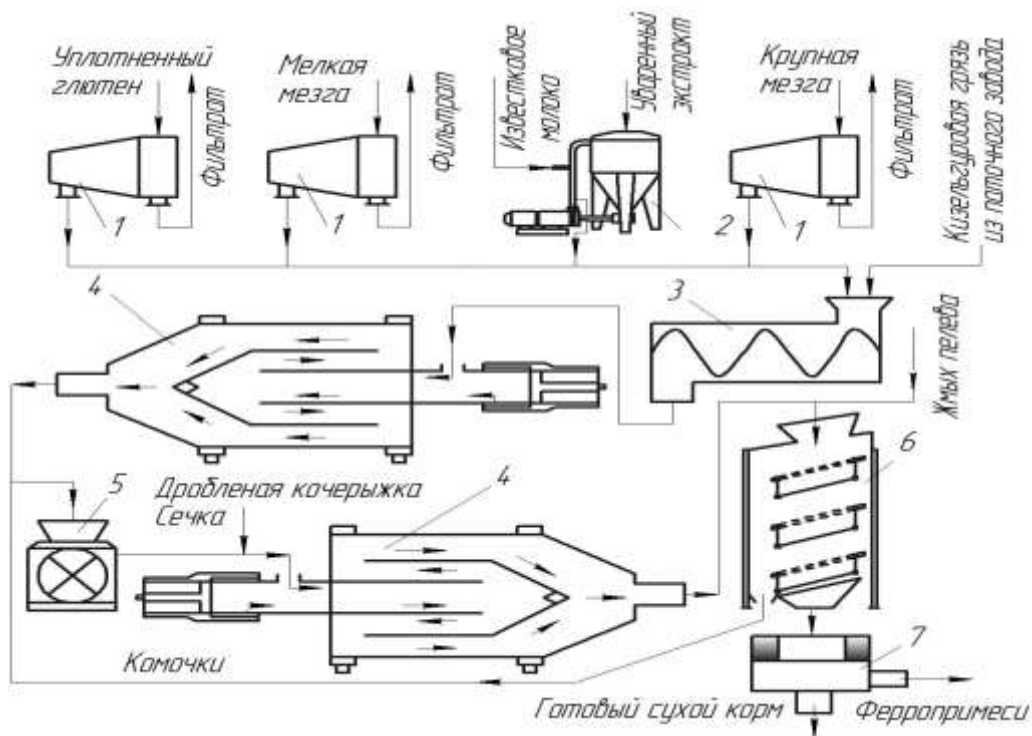


Рисунок 1.9 – Технологическая схема производства СКК применением двухступенчатой сушки.

При использовании изложенного способа производства корма из ППКПП проблема высокой кислотности не решается. Использование известкового молочка не позволяет полностью нейтрализовать кислотность. Кроме того при добавлении известкового молочка в СКЭ значительно повышается его влажность.

Способ, разработанный для переработки побочных продуктов пивоваренного производства, реализованный ООО «Кавикорм», позволяет использовать его для

приготовления кормов из ППКПП (рис. 1.10). Способ основан на биологической переработке побочных продуктов с использованием дрожжевых бактерий.

В смеситель 1 загружаются побочные продукты совместно с грубыми кормами, которые поступают через измельчитель 2 и дозатор 3. Сухие компоненты из емкостей 4, через измельчитель также направляются в смеситель 1. Использование сухих компонентов и грубых кормов позволяет значительно понизить влажность массы. Полученную массу загружают в реактор 6. Переработанную массу после реактора направляют в пресс-гранулятор 7. После охлаждения в колонне 8. Готовый корм загружается транспортером 9 в бункеры готовой продукции 10.

ООО «Кавикорм» аналогично ЗАО «Биокомплекс» реализовывает способ, основанный на биологической обработке побочных продуктов пищевых производств, поэтому предусматривают длительный период производства кормов.

Как показал представленный выше анализ способов, которые возможно использовать при переработке ППКПП имеют ряд существенных недостатков. Реализация способов приготовления СКК, не решает их проблему высокой кислотности. Себестоимость СКК будет высокой из-за большого потребления энергии, расходуемой на удаление влаги, и используемого дорогостоящего оборудования в большом количестве.

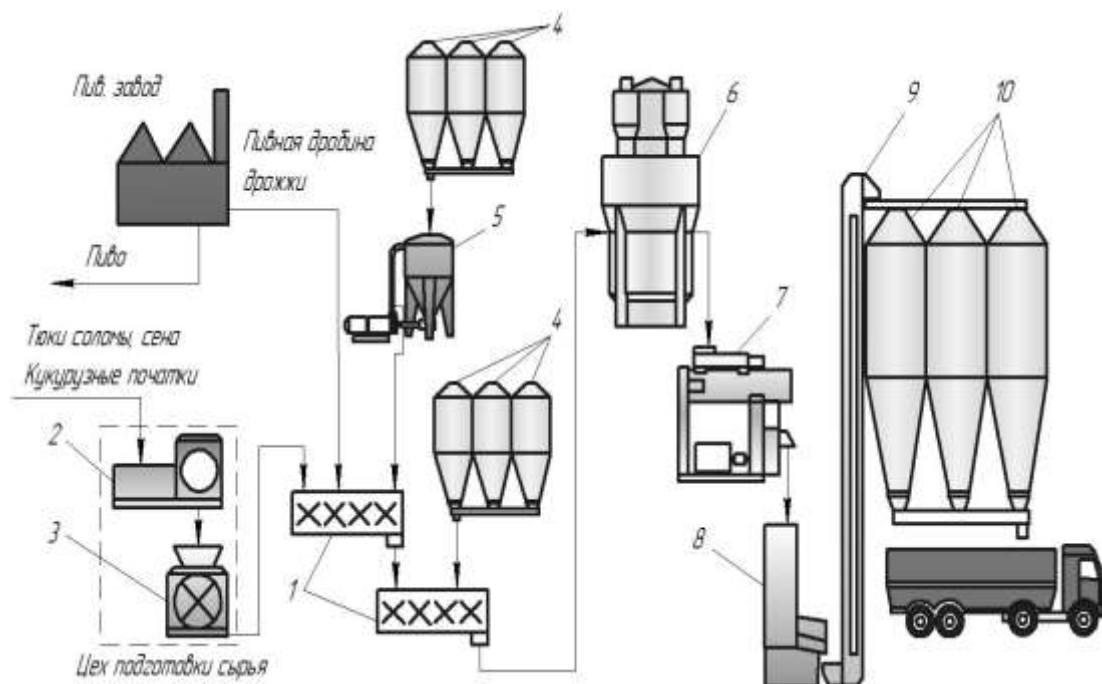


Рисунок 1.10 – Технологическая схема производства кормов ООО «Кавикорм».

Как показывает практика, в настоящее время, ВКК приготовленные из ППКПП востребованы в зоне транспортной доступности предприятий. При этом перерабатывающие предприятия при минимальных вложениях на приготовление кормов снижают себестоимость основной продукции и решают экологическую проблему связанную с утилизацией СКЭ. При этом необходимо решить основную проблему высокой кислотности кормов приготовленных из ППКПП [69, 70].

Использование кислых кормов в рационе кормления крупного рогатого скота приводит к понижению рН содержимого рубца, а так как через него проходит до 80 % органических веществ, то разрушается биохимическая система рубца [9]. Это приводит к снижению переваримости кормов и продуктивности животных. Также из-за низких значений рН в рубце желудка замедляется моторика всех его отделов. Кислотная среда рубца при разрушенной микрофлоре в нем приводит к заболеванию животного.

На основании выше изложенного следует, что в настоящий момент проблема соответствия кормов приготовленных из ППКПП зоотехническим требованиям, особенно по кислотности, актуальна и требует решения.

1.4 Анализ технических средств приготовления кормов из ППКПП

Реализация представленных способов приготовления кормов из ППКПП невозможна без соответствующих технических средств. Производственными процессами приготовления подобных кормов являются: нейтрализация кислотности (химическая обработка), дозирование, смешивание, транспортирование, хранение и другие.

Исследованиями технических средств подготовки кормов к скармливанию занимались ученые: Р.Е. Алтынбеков, С. В. Брагинец, А. В. Байдов, С.М. Ведищев, Н.Н. Васильев, Л.Г. Васильева, В.В. Коновалов, М.А. Коньков, И.В. Горюшинский, Е.Е. Гришков, Ю.А. Иванов, Ю.М. Исаев, М.С. Рунчев, В.И. Сыроватка, Л.П. Кормановский, А. И. Купреенко В.И. Курдюмов, А.С. Куспаков, Г. М. Кукта, Ю. И. Макаров, С.Н. Маланчев, А.К. Мальцев, Д.В. Межуева, А.Г. Мудров, В.М. Ульянов, В.Ф. Ужик, Ю.В. Саенко, В.И. Сыроватка, А.А. Полункин, А.В. Прохоров, А.Ш. Финкельштейн, и другие [1, 4, 5, 12, 13, 21, 22, 23, 24, 30, 45, 63, 64, 66, 74, 75, 76,

80, 81, 82, 89, 90, 91, 94, 100, 110, 111, 119, 134, 143, 149, 155, 167, 171, 173, 176, 178, 180, 206, 235]. Не смотря на большое количество проведенных научных исследований, в настоящее время вопрос разработки технических средств для приготовления кормов из ППКПП остается мало изученным.

Для проведения химической обработки кормов возможно использование следующих известных средств механизации.

Смеситель мелассы и карбомида СМ - 1,7 [41]. Основное назначение СМ -1,7 это приготовление протеинового концентрата из мелассы и карбамида. Данный смеситель состоит из двух емкостей 5 и 1,8 м³, первая для временного хранения мелассы, вторая для смешивания. Ёмкости соединены трубопроводом, по которому с помощью насоса перекачивается меласса и готовый концентрат. Для поддержания мелассы в жидком состоянии все составляющие смесителя имеют паровую рубашку. Принцип работы СМ – 1,7 заключается в растворении мелассы горячей воде и дальнейшем смешивании с карбамидом в строго определенной пропорции. Роль рабочего органа смесителя выполняет лопастная мешалка.

Агрегат приготовления заменителя молока АЗМ – 0,8А предназначен для приготовления кормовой смеси, которая используются для выпойки телят. Принципиальная схема АЗМ – 0,8А представлена на рисунке 1.11.

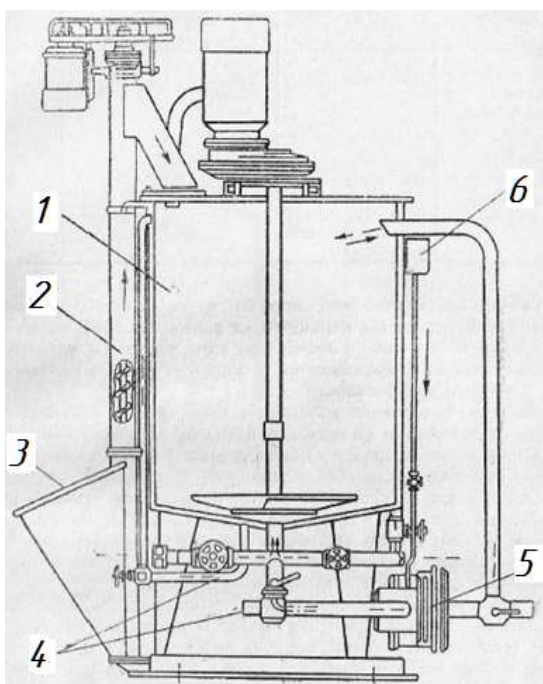


Рисунок 1.11 – Схема агрегата АЗМ – 0.8А.

Агрегат состоит из емкости 1, внутри которой размещена лопастная мешалка. Для подачи концентратов имеется шнековый транспортер 2 с загрузочной горловиной 3. Подвод воды и пара осуществляется по трубопроводам 4, которые соединены с насосом эмульсатором 5 и емкостью жировых-витаминных добавок 6.

Технологический процесс АЗМ – 0,8А следующий. В емкость заливают воду и загружают комбикорм, затем подают пар. После запаривания в емкость добавляют обезжиренное молоко. Приготовленную смесь охлаждают и смешивают с жировыми-витаминными добавками с помощью насоса эмульсатора. Таким образом в результате получается, колоидно-дисперсная эмульсия обогащенная жирами и витаминами.

Наиболее современное оборудование для приготовления влажных кормовых смесей (ЗЦМ) предлагает торговая марка «ТЕКМАШ» (рис.1.12).



1 – установка приготовления смеси «ТЕК-СМ»; 2 – загрузочное устройство «ТЕК-ЗУ»; 3 – емкость ЗЦМ.

Рисунок 1.12 – Оборудование для производства ЗЦМ «ТЕКМАШ».

Данное оборудование состоит из установок для загрузки сырья – ТЕК-ЗУ, гидродинамического смешивания ТЕК-СМ и емкости приготовления ЗЦМ.

На основании рецепта сухие компоненты подаются в загрузочное устройство и добавляется обрат или другая жидкость. Насосом масса перекачивается в установку ТЕК-СМ, в которой происходит гидродинамическое смешивание и обезжиривание. Окончательное смешивание приготовленной массы с водой осуществляется в емкости для приготовления ЗЦМ.

Смеситель запарник кормов Г7-СЗК-6,5-ТШ производства ООО «Эртильский литейно-механический завод» (рис. 1.13). Основное назначение это перемешивание, химическая, биологическая и термическая обработка кормов.

Корпус смесителя представляет закрытую емкость, внутри которой установлена горизонтально лопастная мешалка и расположенным под ней выгрузным шнековым транспортером. Боковые стенки корпуса снабжены паровой рубашкой. Привод мешалки и шнекового транспортера осуществляется от электродвигателя через редуктор и клиноременную передачу.



Рисунок 1.13 – Смеситель-запарник Г7-СЗК-6,5-ТШ.

Принцип работы Г7-СЗК-6,5-ТШ следующий. Компоненты кормовой смеси поочередно загружаются в смеситель. При химической или биологической обработке добавляется необходимый компонент и вода. Данная масса перемешивается и выдерживается необходимое время. При термической обработке в паровую рубашку подается теплоноситель.

Подобную конструкцию имеет смеситель СКО-Ф-3-1 (рис. 1.14) [40]. Он имеет аналогичную Г7-СЗК-6,5-ТШ конструкцию и назначение. Отличие заключается в рабочем органе, он представляет собой горизонтально расположенную трубу с двумя противоположно направленными ленточными навивками. Подача пара предусмотрена непосредственно внутрь смесителя.

Для смешивания влажных кормов широко применяются ленточные и лопастные смесители, периодического и непрерывного действия.

Известен одновальный ленточный смеситель СК – 3, периодического действия, производства ЗАО Инженерный центр «Грант» (рис. 1.14) [2]. Данный смеситель имеет широкое применение. Он может осуществлять смешивание зерновых

компонентов, измельченных грубых и сочных кормов, минеральных добавок, а также жиров.

Смеситель СК – 3 представляет собой закрытый бункер с загрузной и выгрузной горловинами. В нижней части бункера, которая имеет цилиндрическую форму, установлен рабочий орган, выполненный в виде горизонтально расположенного вала с ленточными навивками. Данная конструкция имеет малую металлоемкость и энергоемкость, при этом обеспечивает однородность смешивания в диапазоне 93...95%.

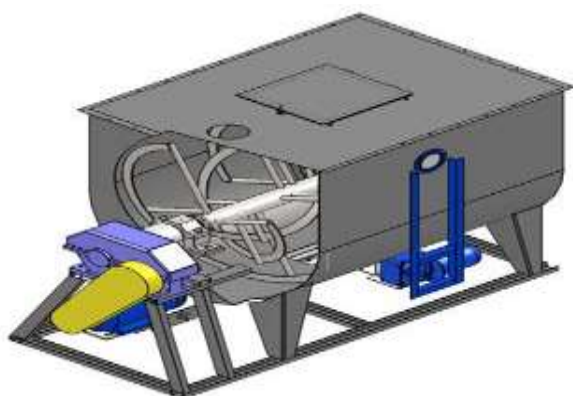


Рисунок 1.14 – Смеситель СК – 3.

Двухвальный ленточный смеситель серии СГУ производства Курского завода грануляторов, предназначен для трудносмешиваемых материалов, в том числе сыпучих с жидкостями (рис 1.15) [150].

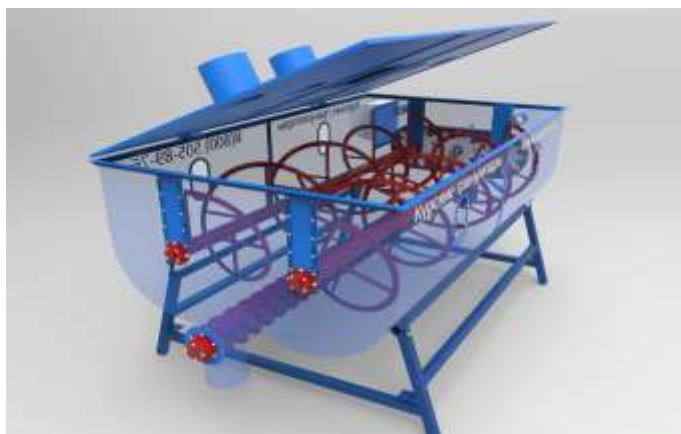


Рисунок 1.15 – Смеситель серии СГУ Курского завода грануляторов.

Смесители серии СГУ представляют собой закрытую емкость с расположенными внутри рабочими органами и выгрузным шнеком. Рабочие органы выполнены в виде валов с лопастями и с закрепленной на них спиральной лентой.

Смешивание происходит за счет послойного перемещения массы за счет движения лопастей и винтовой ленты.

Интересную, для нас конструкцию имеет смеситель Б6-ДАК (рис 1.16) [40].

Изначально смеситель Б6-ДАК разрабатывался и использовался для смешивания комбинированных кормов и обогащения их мелассой.

Смеситель Б6-ДАК имеет следующую конструкцию. В закрытом корпусе расположен шнек и под ним лопастная мешалка. Шнек выполняет роль питателя, а смешивание обеспечивает лопастная мешалка. Для ввода мелассы предусмотрена форсунка. Смеситель снабжен гидравлическим вариатором, который позволяет регулировать частоту вращения рабочих органов. Меласса подается с помощью насоса-дозатора.

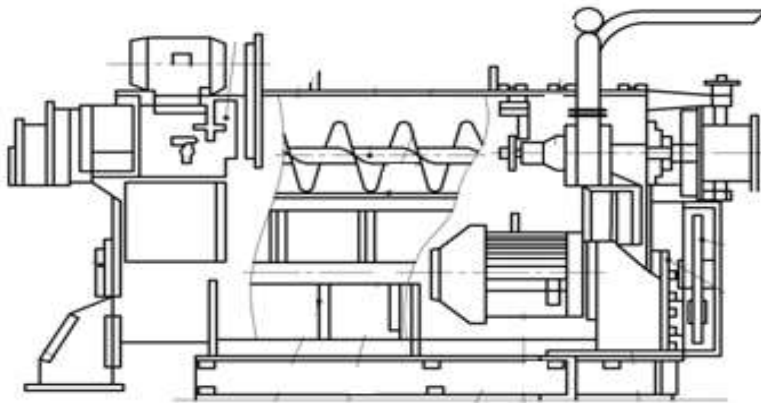


Рисунок 1.16 – Схема смесителя Б6-ДАК.

Из современных смесителей в нашем случае заслуживают машины выпускаемые ООО «Ардон» [152].

Смеситель непрерывного действия серии WАН представлен на рисунке 1.17.



А.

Б.

А – общий вид смесителя серии WАН, Б – рабочая камера смесителя WАН.

Рисунок 1.17 – Смеситель серии WАН.

Смеситель представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположены основной и дополнительные рабочие органы (рис. 1.17Б). Корпус

имеет горловину для подачи компонентов, с противоположной стороны в торцевой стенке имеется выгрузное окно с заслонкой, с ее помощью регулируется время смешивания. Основной рабочий орган выполнен в виде горизонтальной лопастной мешалки. Край лопасти выполнен в виде клина. Дополнительные рабочие органы (деагломераторов) выполнены в виде ножей, имеющие частоту вращения $1500...3000 \text{ мин}^{-1}$. Дополнительно смесители могут быть оборудованы системами для ввода жидких добавок и подогревом (термокожухом).

В последнее время большое внимание уделяется спиральным смесителям.

Разработке и исследованию данных машин посвящены труды ученых С. М. Ведищев, В.И. Курдюмова, З.К. Галиакберова, И.Х. Насибуллова, В.В. Коновалова, А. И. Купреенко, Г.М. Кукта, А.С. Фоминым, В.М. Ульянова, О.И. Палий, А.В. Хребтова, И.И. Прищеп, П.И. Инюточкина, Л.В. Неплюева, С.В. Германа и др. [64, 72, 83, 117, 118, 126, 128, 129, 130,131, 132].

Конструкция спирального конвейера- смесителя разработанная В.В. Коноваловым и А.С. Фоминым представлена на рисунке 1.18 [64].

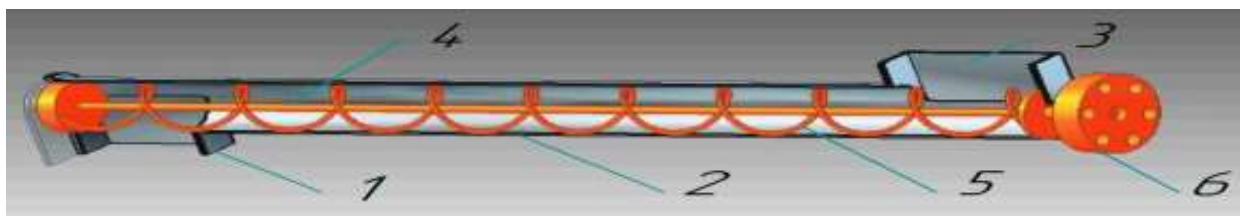


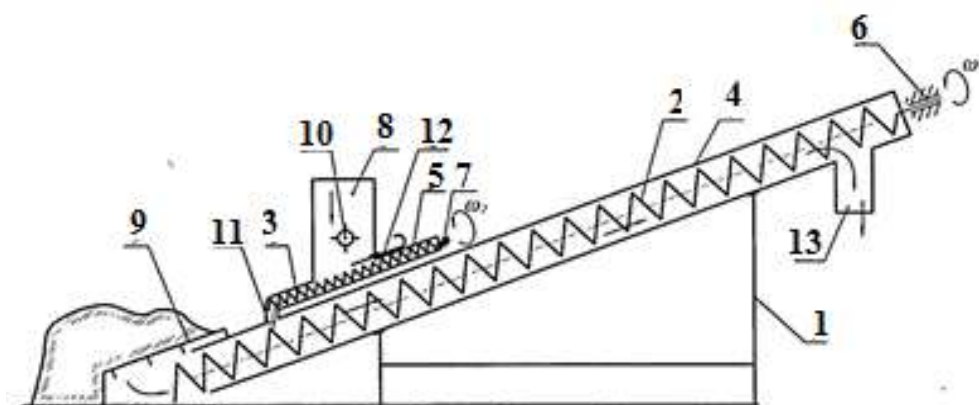
Рисунок 1.18 – Схема конвейера-смесителя В.В. Коновалова и А.С. Фомина.

Корпус спирального конвейера-смесителя выгрузного окна 1, транспортирующей трубы 2, бункера 3. Рабочий орган представляет собой центральный вал 4 со спиралью 5. Привод рабочего органа осуществляется через кулачковую муфту 6. Смешивание осуществляется за счет послойного перемещения компонентов.

Интересна конструкция дозатора-смесителя сыпучих материалов, разработанного в Ульяновской ГСХА В.И. Курдюмовым (рис. 1.19) [84].

Дозатор-смеситель сыпучих материалов (рис. 1.17) включает установленные на раме 1 рабочие органы 2 и 3 в виде спиральных винтов разного диаметра в кожухах 4 и 5 с приводами 6 и 7 и бункер 8. Один из рабочих органов размещен со смещением по высоте относительно другого, причем рабочий орган 3 с меньшим диаметром

установлен над кожухом 4 рабочего органа 2 большего диаметра. Рабочий орган 2 большего диаметра с одного конца выполнен выступающим за наружные края кожуха 4 и снабжен защитной решеткой 9, а в бункере 8 для сыпучих материалов установлена ворошилка 10. Рабочий орган меньшего диаметра снабжен патрубком 11, выходное отверстие которого расположено в кожухе рабочего органа большего диаметра за защитной решеткой. Привод рабочего органа меньшего диаметра выполнен с возможностью регулировки частоты вращения. Рабочий орган меньшего диаметра расположен под бункером. В бункере установлена заслонка 12. Кожух снабжен выгрузным окном 13.



1 – рама; 2, 3 – винтовые спирали; 4, 5 – кожухи; 6, 7 – приводы транспортеры; 8 – бункер; 9 – решетка; 10 – сводоразрушитель; 11 – выгрузная горловина, 13 – выгрузная горловины; 12 – заслонка.

Рисунок 1.19 – Схема спирального дозатора-смесителя В.И. Курдюмова.

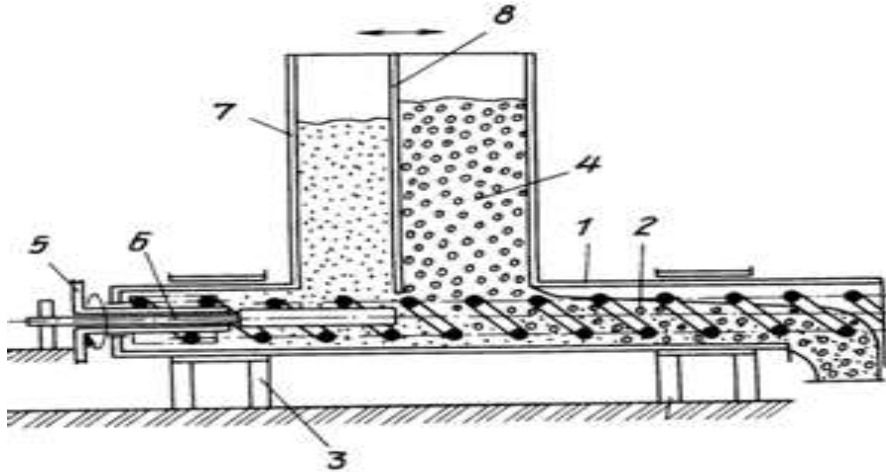
Особенностью конструкции данного дозатора-смесителя является расположенные друг над другом двух спиральных транспортеров, разного диаметра. Нижний транспортер имеет загрузочную зону с решеткой и выгрузную горловину. В нижнем корпусе дополнительно имеется горловина, соединенная с верхним транспортером. Верхний транспортер имеет бункер с заслонкой, установленный на входе.

В данном случае происходит дозирование только одного компонента, который подает верхний транспортер. Количество подаваемого материала регулируется заслонкой установленной между бункером и верхним транспортером.

Смешивание компонентов происходит за счет их послойного транспортирования.

З.К. Галиакберов и И.Х. Насибуллов разработали смеситель-дозатор со спиральным рабочим органом, который осуществляет смешивание [118]. Смеситель-дозатор представляет собой транспортирующую трубу внутри, которого

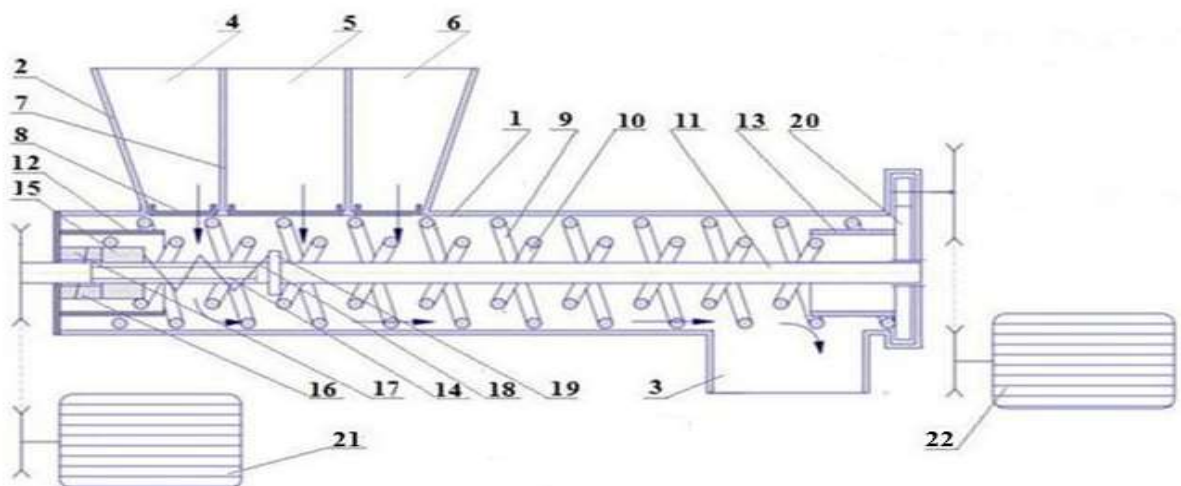
установлена спираль. Над транспортирующей трубой установлен бункер с перегородкой, с целью деления его на две секции (рис. 1.20). Предварительно секции бункера заполняются компонентами, затем они попадают в транспортирующую трубу и смешиваются в процессе перемещения их к выгрузной горловине.



1 – корпус 2 – спиральный транспортер, 3 – рама, 4, 7 – секции бункера, 5 – ременная передача, 6 – вкладыш, 8 – перегородка бункера.

Рисунок 1.20 – Дозатор-смеситель конструкции З.К. Галиакберова и И.Х. Насибуллова .

Заслуживает внимания конструкция двухспирального смесителя, предложенная в Рязанском агротехнологическом университете [126]. Конструкция данного



1– кожух; 2 – бункер-накопитель; 3 – выходная горловина; 4, 5, 6 – секции; 7 – перегородки; 8 – дозаторы; 11– вал; 12, 13 – цилиндрические обечайки; 14 – шлицы; 15 – шлицевая втулка; 16 , 17 – цилиндры полые; 18 – пружина; 19 – выступ; 20 , 21 – приводы.

Рисунок 1.21 – Схема двухспирального смесителя кормов.

смесителя кормов аналогична выше изложенной, но имеет существенные отличительные особенности (рис. 1.21). Бункер имеет две перегородки, которые делят его на три секции. Рабочий орган представляет собой две спирали установленные соосно, одна в другой. Спирали имеют автономные приводы, за счет которых обеспечена разница их частот вращения. По замыслу авторов за счет наличия двух спиралей с различными частотами вращения, возможно, повысить эффективность смешивания. Особое внимание заслуживают современные конические смесители, их рабочим органом является шнек, один из концов которого закреплен на водиле. Это обеспечивает движение шнека по сложной траектории.

ООО «ХОСОКАВА МИКРОН Санкт-Петербург» производит смесители серии Nauta (рис.1.22).

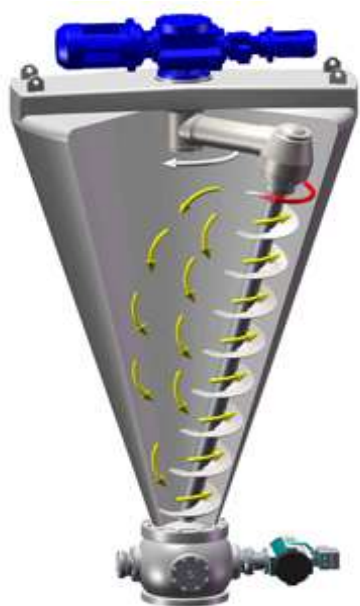


Рисунок 1.22 – Смеситель кормов серии Nauta.

В данной конструкции смесителя шнек приводится во вращение от нижнего мотор-редуктора. Второй конец шнека имеет привод через водило от верхнего мотор-редуктора обеспечивая его движение параллельно стенке конического корпуса. Данная конструкция смесителя повышает эффективность смешивания, за счет рециркуляции компонентов, используя их силу тяжести.

Конструкция смесителя И.И. Прищепы, П.И. Инюточкина, Л.В. Неплюева и С.В. Германа представлена на рисунке 1.23 [117]. Данная конструкция имеет конический корпус с установленным по центру валом снабженной спиральной

навивкой, к которому прикреплен шнек с помощью нижней опоры и верхней водило. В верхней части шнека установлено опорное колесо. Вращение шнека осуществляется за счет силы трения опорного колеса и внутренней поверхности корпуса смесителя. В результате смешивание происходит за счет совместного воздействия на компоненты центрального вала с навивкой и планетарно установленного шнека. Смеситель иностранного производства с винтовыми рабочими органами предлагает компания Shanghai Shenyin Machinery Group Co.

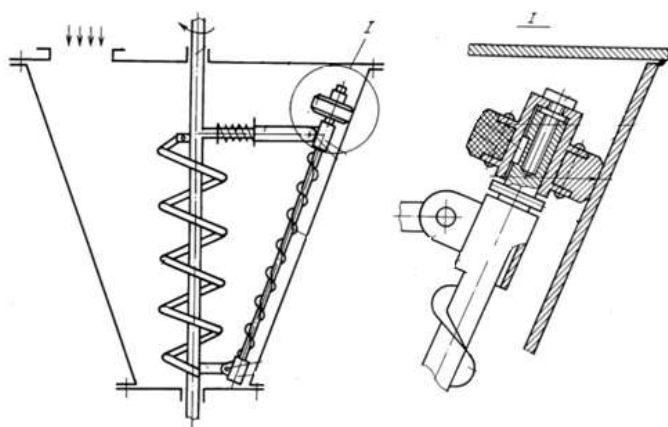


Рисунок 1.23 – Смеситель кормов И.И. Прищепы, П.И. Инюточкина, Л.В. Неплюева и С.В. Германа.

Отличительной особенностью смесителя серии VSH является наличие двух консольных шнеков закрепленных на водиле, установленных в коническом корпусе (рис. 1.24). Привод шнеков осуществляется от мотор-редуктора через угловые редукторы. Таким образом, перемешивание компонентов осуществляется за счет планетарного перемещения шнеков и их вращения вокруг своей оси.



Рисунок 1.24 – Смеситель серии VSH.

Представленные выше технические средства, применяемые для приготовления кормовых смесей и химической обработки кормов показал, что практически не представляется возможным использовать их для производства кукурузных кормов. Проблема использования существующих технических средств приготовления кормов заключается в основном в физико-механических и теплофизических свойствах ППКПП.

Поэтому необходимо разработать специальный агрегат для осуществления обработки сгущенного кукурузного экстракта щелочами с целью снижения его кислотности. Конструкция должна позволять эффективно использовать тепловую энергию, которая выделяется при химической реакции взаимодействия кукурузного экстракта с реагентами с минимальными потерями в окружающую среду.

При разработке смесителей также необходимо учитывать, особенности физико-механических и теплофизических свойства ППКПП. Кроме того СКЭ имеет высокую вязкость, значение которой зависит от окружающей температуры. Необходимо также принимать во внимание, что часть побочных продуктов, которые могут использоваться для кормовой смеси, такие как отходы зерна кукурузы и пелева – сухие, а ОКМ имеет влажность 55...60%. Это усложняет эффективное их перемешивание, особенно со СКЭ, происходит образование комков, что снижает качество конечного продукта.

1.5 Анализ результатов исследований смешивания кормов

Процесс смешивания (перемешивания) веществ широко используется в химической промышленности. В изучение данного процесса значительный вклад внесли такие ученые как Л.Н. Брагинский, Н.И. Гельперин, Д.О. Бытев, А.И. Зайцев, Ю.И. Макаров, Ю.В. Саенко, В.А. Северцев, Ю.М. Исаев, В.В. Воронин, К.А. Воронин, В.Г. Менх, В.Е. Мизонов, И.А. Балагуров, В.И. Сыроватка, А.А. Омельченко, Л.И. Штельмах, В.И. Пахомов, С.Г. Карташов, Е.М. Клычев, О.Б. Пошевкин, Е.С. Раскатова, В.И. Сыроватка, Ф. Стренк, S. Aiba, J. Anchal, J. M. Matthew, J. G. Benjamin, K.C. Behnke и другие [19, 27, 34, 46, 71, 99, 100, 102, 113, 133, 136, 140, 142, 144, 147, 149, 163, 222].

Процесс смешивание также широко применяется в животноводстве, в частности при приготовлении кормовых смесей. Этому направлению посвящены

труды многих российских и зарубежных учёных: В.Р. Алешкин, П.М. Рошин, Е.А. В.Е. Баранцева, С.М. Ведищев, И.А. Боровиков, С.И. Воронцов, В.П. Гейфман, Г.М. Кукта, В.Л. Гринберг, В.П. Дегтярёв, С.В. Евсеенков, В.А. Евстратов, П.К. Жевлаков, А.И. Завражнов, Ю.В. Саенко, Ю.А. Иванов, Б.А. Карташов, В.Г. Коба, В.В. Коновалов, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич, Б.А. Комаров, А. И. Купреенко, Р.К. Курбанов, В.И. Курдюмов, В.К. Мартынов, А.Ю. Марченко, С.В. Мельников, Ф.К. Новобранцев, К.А. Останин, Р.М. Якубов, Ю.В. Саенко, Д.Н. Сляднев, А.А. Спирочкин, С.С. Авдеев, Е.С. Раскатова, У.К. Сабиев, Д.Е. Каширин, А.С. Фомин, Д.В. Фролов, В.Х. Хлыстунов, Л. И. Штельмах, J. Michael, I. Hussain, S. L. Traylor и другие [3, 13, 24, 26, 35, 36, 37, 48, 51, 52, 54, 55,57, 58, 60, 61, 64, 72, 77, 78,79, 83, 84, 92, 93, 95, 104, 108, 111, 112, 115, 140, 141, 142, 148, 207, 208, 214, 216, 224, 233].

Исследования по проблеме смешивания кормов условно делятся на три группы. К первой группе следует отнести исследования посвященные изучению физико-механических свойств смешиваемых компонентов, ко второй – качеству смешивания и третьей – определению оптимальных конструктивно-технологических параметров разрабатываемых технических средств.

Физико-механические свойства широко используемых кормов достаточно изучены им посвящены работы А. И. Завражнова [41], В.Г. Кобы В.Ф. Некрашевича [60], С.М. Ведищева [42], В.В. Коновалова [64], В.И. Курдюмова [84] и других ученых.

Вопросам определения показателя качества получаемой кормовой смеси посвящены исследования многих ученых. Среди них Г.М. Кукта [72], В.Е. Мизонова и И.А. Балагурова [99], И.Г. Панина и Ю.М. Колпакова [118], О.Б. Пошевкина [134], А.Д. Селезнева и В.Н. Савиных [147], Панина И.Г. и Колпакова Ю.М. [116], Е.А. Раскатова [143], С. К. Филатова [205], J. Anchal, J. M. Matthew, J. G. Benjamin F.N [219], F.N. Valentin [234], и другие.

В своих работах, на основании закона нормального распределения, Е.А. Раскатова предлагает рассматривать смешивание как кинетический процесс[143]. При этом выдвигает предположение, что процессы смешивания и разделения

неразрывно связаны между собой. Однородность смеси оценивается коэффициентом разницы между скоростями смешивания и разделения.

$$K = F_1(t) - F_2(t) \quad (1.1)$$

где $F_1(t); F_2(t)$ – функции, отражающие процессы смешивания и разделения, соответственно.

Автор отмечает, что смешивание компонентов достигается при условии $F_1(t) = F_2(t)$. При увеличении времени смешивания будет наблюдаться разделение смеси фракции.

В исследования П.К. Желвакова предлагается рассматривать процесс смешивания как изменение концентрации компонента «С» и характеризовать скорость смешивания выражением [39]:

$$V = dC / dt \quad (1.2)$$

При этом алгебраическая сумма скоростей смешивания и разделения будет равна абсолютной скорости смешивания

$$V = dF_1(t) / dt + dF_2(t) / dt \quad (1.3)$$

Ф. Стренка предлагает рассматривать процесс смешивания в соответствии с экспоненциальным законом по выражению [163]

$$\frac{d\left(\frac{\delta_2}{\delta}\right)}{d\tau} = k' \left[1 - \frac{\delta_\tau}{\delta}\right] \quad (1.4)$$

где δ – среднеквадратичное отклонение содержания компонента в смеси; δ_τ – максимальное среднеквадратичное отклонение содержания компонента в смеси; k, k' – постоянные скорости смешивания.

Ряд исследователей оценивают процесс, смешивая как изменение площади поверхности раздела компонентов в объеме относительно времени.

Так, А.К. Мальцев [91] рекомендует использовать выражение отношение текущего значения поверхности раздела (S) к максимальному (S_m).

$$\frac{S}{S_m} = 1 - e^{-k_2 t} \quad (1.5)$$

где k_2 – эмпирический коэффициент.

Аналогичное выражение предложили J. Coulson [223]:

$$\frac{ds}{d\tau} = k(S - S_m) \quad (1.6)$$

где s_0, S – имеют тот же смысл, что и S, S_m в предыдущем выражении.

По мнению Б.А. Комарова, качество смешивания оценить как [61]

$$M = 1 - e^{-kt} \quad (1.7)$$

где M – форма, характеризующая качество смешивания; t – длительность смешивания; k – безразмерный эмпирический коэффициент.

В данном случае предлагается учитывать особенности физического состояния компонентов и конструктивно-технологические параметры технических средств обобщенным эмпирическим коэффициентом.

Недостатком выше изложенных результатов исследований направленных на определение качества смешивания является наличие эмпирических коэффициентов. Которые потребуют уточнения в каждом конкретном случае. При определении эмпирических коэффициентов не всегда возможно учесть влияние всех значимых факторов.

Некоторые ученые, в том числе А.И. Штельмах, утверждают, что перемещение компонента при смешивании, носит случайный характер, и предлагают выражение [212]. Данное выражение позволяет определить среднюю концентрацию компонента в определенном объеме смеси.

$$\theta(t, p) = \mu \xi(t, p) / \Delta V_p \quad (1.8)$$

где $\mu \xi(t, p)$ – количество компонента в объеме ΔV_p ; t, p – радиус, вектор ΔV_p ; μ – математическое ожидание.

В.В. Коновалов предлагает рассматривать любую кормовую смесь как двухкомпонентную. При этом выбирать из смеси первый (контрольный) компонент, а вторым – считать ее оставшуюся часть [64]. При этом степень однородности смеси следует считать отношение масс контрольного компонента в исследуемом объеме идеальной смеси.

С.В. Мельников и А.А. Лапшин рекомендуют из смеси выбирать несколько проб (n). Затем определив долю меньшего компонента (B_t) и используя его известное значение в идеальной смеси (B_0) рассчитывать степень однородности по формуле [95]:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } B_t < B_0 \rightarrow \theta &= \sum \left(\frac{B_t}{B_0} \right) / n \\ \text{при } B_t > B_0 \rightarrow \theta &= \sum \left(\frac{2B_0 - B_t}{B_0} \right) / n \end{aligned} \right\}, \quad (1.9)$$

И.А. Боровиков предложил выражение для определения однородности смеси [18].

$$P \left(z_k^1 \leq \frac{\Delta_1}{s} \leq z_k^{11} \right) = 2\Phi_0(z_i), \quad (1.10)$$

где: Φ_0 – функция Лапласа;

\bar{x} ; - среднее значение;

$\Delta_{i-xi}-\bar{x}$ – разница значений от среднего;

s – отклонение среднеквадратичное;

z_k^1 и z_k^2 – регламентированные значения контрольного компонента.

В своих исследованиях Ф.Г. Стукалкин доказывает, что степень однородности смеси есть функция от значения, характеризующего режим смешивания ($\omega^2 R/g$), дисперстности (δ/d) и показателя отражающего заполнение смешивающей камеры смесителя (h/d).

$$\theta = f \left(\frac{\omega^2 R}{g}, \frac{\delta}{d}, \frac{h}{d} \right) \quad (1.11)$$

Известен способ оценки однородности смеси путем расчета среднеквадратичного отклонения содержания компонента (σ_k) в приготовленной смеси, предложенный F.N Valentin [235]:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{xy}{\left[\frac{xy}{\mu} + x \sum (fw)x \right] y \sum (fw)y}}, \quad (1.12)$$

где: $\sum (f_w)x$; $\sum (f_w)y$ – эффективные средние геометрические параметры частиц смешивающих компонентов.

В работе С.К. Филатов предложено оценивать качество полнорационной смеси, приготовленной в кормораздатчике, неравномерностью смешивания (V_c) [205].

$$V_c = \frac{100}{c(f)} \sqrt{\frac{\sum [c_i(t) - \bar{c}(t)]^2}{N}} \quad (1.13)$$

где $c_i(t)$ – количество контрольного компонента в пробе, $шт/м^3$;

$\bar{c}(t)$ – количество контрольного компонента по зонам, $шт/м^3$; N – количество зон.

Некоторые авторы рекомендуют определять под однородностью смеси, отношение среднеквадратических отклонений теоретического (σ_T) и эмпирического (σ_3) [50].

$$\theta_\sigma = \frac{\sigma_m}{\sigma_3} = \frac{\pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - p)^2}{n-1}}}{\pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}} \quad (1.14)$$

где: x_i , \bar{x} – концентрация контрольного компонента в i пробе, и его среднее значение, соответственно.

p – заданная концентрация контрольного компонента в смеси.

\bar{x} – среднее арифметическое содержание того же компонента, найденное в опыте.

В данном случае идеальное смешивание ($\theta_\sigma = 1$) будет при условии равенства среднеквадратичных отклонений теоретического и эмпирического. На практике значение эмпирического среднеквадратичного отклонения меньше теоретического, поэтому однородность смешивания будет менее единицы.

Известен способ определения однородности смеси с применением индикаторного вещества, разработанный Ю.М. Колпаковым и И.Г. Паниным, в качестве которого могут быть использованы компоненты минеральных добавок, сырой протеин и другие вещества [116].

Первоначально определяется коэффициент вариации (V) равный отношению выборочного отклонения (S) к среднему значению индикаторного вещества (C) выраженный в процентах:

$$V = \frac{S}{\bar{C}} \cdot 100, \quad (1.15)$$

Коэффициент однородности при этом равен

$$K = (100 - V), \quad (1.16)$$

Дисперсия в данном случае определяется по выражению

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2, \quad (1.17)$$

где: C_i, \bar{C} – концентрация индикатора в пробе и среднее ее значение.

Дисперсия (S^2) равна сумме дисперсии определяемой варьированием содержания индикаторного вещества и (S_n^2) и аналитической дисперсии (S_a^2)

$$S^2 = S_n^2 + S_a^2, \quad (1.18)$$

Для выявления влияния (S_n^2) на (S^2) определяют.

Критерий Фишера

$$F = \frac{S^2}{S_a^2}, \quad (1.19)$$

Для расчета стандартного отклонения воспроизводимости D известно выражение

$$D = a + b \cdot \bar{C}, \quad (1.20)$$

где: a, b – постоянные, численные значения индикаторов метода анализа.

Известна взаимозависимость D и S_a :

$$D = 1.96 \cdot \sqrt{2} \cdot S_a, \quad (1.21)$$

при этом

$$S_a = 0,36 \cdot (a + b \cdot \bar{C}) \quad (1.22)$$

Для оценки влияния S_n^2 на S^2 на уровне значимости α , проводят сравнение критерия Фишера F со значением критической точки распределения Фишера $F_\alpha(f_1; f_2)$. В данном случае $f_1 = (n_1 - 1)$ – число степеней свободы, соответствует S^2 , $f_2 = (n_2 - 1) - S_a^2$. При выполнении условия $F \leq F_\alpha(f_1; f_2)$, S^2 и S_a^2 с $P = (1 - \alpha)$ есть оценка генеральной дисперсии, влияние S_n^2 на S^2 признается незначительным, а смесь считается однородной. При $F > F_\alpha(f_1; f_2)$ влияние S_n^2 на S^2 значительное и смесь – неоднородна.

Учеными А.Д. Селезневым и В.Н. Савиновым изложен способ оценки неоднородности смеси основанный на исследовании цветовой гаммы приготовленной смеси [155].

Наиболее современный способ предусматривает определение коэффициента равномерности смеси путем перевода ее фотографического изображения в математическую модель с последующим делением ее на кластеры. В данном случае математическая модель отражается как двумерная дискретная последовательность

$$S_{i,j}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \quad (1.23)$$

где: $S_{i,j}$ – фотографическое изображение;

N, M – соответственно, количество строк и столбцов.

Алгоритм определения коэффициент равномерности следующий.

Первый этап. Полученное изображение делится на строки (N) и столбцы (M). В дальнейшем при расчете принимают $n = N/10$, $m = M/10$. Затем определяется количество прямоугольных площадей, устанавливается количество компонентов смеси (K), далее осуществляется его определение автоматически.

Второй этап. На основании метода К-средних кластеризуется фотографическое изображение смеси. Кластеризация завершается при установке постоянства кластеров.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{S_{i,j} \in X_k} (S_{i,j} - \mu_k)^2 \rightarrow \min \quad (1.24)$$

при этом $S_{i,j} \in X_k$

где: K – количество кластеров; X_k – множество пикселей k -го кластера; μ_k – центр масс.

По результатам данного этапа определяется цвет полученной маски. При $K=2$ вид маски черно-белый. При $K > 2$ вид маски серый.

Третий этап заключается в определении коэффициента смешивания (R) по каждому цвету.

$$R = \left(100\% - \sqrt{\left(\frac{1}{m \cdot n} \cdot \sum_{p=1}^P (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \right)} \cdot 100\% \right), \quad (1.25)$$

где: $\frac{1}{m \cdot n} = L$ – диапазон вычисления коэффициента равномерности;

$P = M / m \cdot N / n$ – количество пикселей в диапазоне L ;

Y_p – количество пикселей в диапазоне L , k -ого кластера;

$\overline{Y_p}$ – среднее значение пикселей.

Описанный алгоритм определения коэффициента равномерности используется программой MATLAB.

Смешивание кормов это сложный процесс, зависящий от множества факторов. При этом при оценке качества смешивания используют упрощенные модели, поэтому предложенные выше выражения, не отражают истинную картину и не учитывают большое количество факторов, оказывающих значимое влияние на процесс.

Обоснованию и оптимизации конструктивных параметров и режимов работы смесителей посвящены выполненные исследования: С.В. Брагинец [19], В.В. Гунько [33], В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич [60], Н.И. Гельперин [27], С.И. Воронцов [24], Р.К. Курбанов [83], А.М. Григорьева [31], А.И. Куприенко [229], М.В. Фомина, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов [23], С.В. Ведищев [5, 153], Ю. В. Саенко [146, 148, 154], В.Ф. Хлыстунов [209], многих других ученых.

Для обосновании конструктивно-технологических параметров лопастного смесителя В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Марусидзе и др. предложили выражение для определения скорости вращения рабочего органа [60]:

$$M\omega^2 R \leq mg \quad (1.26)$$

Данное выражение отражает условие, того что возникающая центробежная сила ($M\omega^2 R$) должна быть меньше силы тяжести mg , это обеспечивает перемещение компонентов лопастями. При не соблюдении данного условия компоненты не смогут удерживаться на лопастях.

Из выражения 1.10 можно определить максимально допустимое значение частоты вращения рабочего органа (n)

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{q}{R}} = \frac{30}{\sqrt{R}} \quad (1.27)$$

Зная частоту вращения возможно определить затрачиваемую мощность привода рабочего органа.

$$N = \sum (P_p V_p + P_0 V_0) \quad (1.28)$$

где P_p – сила сопротивления смеси, действующая в радиальном направлении, Н; P_0 – сила сопротивления смеси, действующая в радиальном направлении, Н;

V_p – окружная скорость продукта на лопасти, м/с;

V_0 – осевая скорость перемещения продукта, м/с.

Скорости определяются по формулам

$$V_p = (2l \cos \theta + b) \omega \quad (1.29)$$

$$V_0 = V_p \cos \alpha \sin \alpha \quad (1.30)$$

где l – длина лопасти, м;

b – ширина лопасти, м;

θ и α – углы установки лопасти, град;

ω – угловая скорость лопасти, c^{-1} ;

Радиальная сила сопротивления определяется по формуле

$$P_p = 9,81 l h_c F t q^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \times (\cos \alpha + f \sin \alpha) \quad (1.31)$$

Осевая сила сопротивления определяется по формуле

$$P_0 = 9,81 l h_c F t q^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \times (\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (1.32)$$

где φ и f – соответственно угол и коэффициент трения.

Н. И. Гельперин в работах посвященных смешиванию жидких и вязких компонентов характеризует процесс, как распределение скоростей в объеме. Он утверждает, что вращение прямоугольной лопасти в жидкой среде сопоставимо с поступательным движением в неограниченном объеме [27].

Изходя из выше сказанного, силу сопротивления при смешивании можно выразить как:

$$P_{\Gamma} = c_x F \frac{U^2}{2} \rho_{\text{жс}} \quad (1.33)$$

где c_x – коэффициент сопротивления лопасти;

$\rho_{\text{жс}}$ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

F – площадь миделя лопасти, м^2 ;

U – окружная скорость, $\text{м}/\text{с}$;

Затрачиваемая мощность

$$N = \frac{c_x \rho_{\text{жс}} b R^4 \omega^3}{8000} \quad (1.34)$$

Если принять, что $\omega = 2\pi n$; $R = \frac{d}{2}$ $b = \psi d$, то

$$N = C n^3 d^5 \rho_{\text{жс}} \quad (1.35)$$

где C – коэффициент запаса мощности.

С.И. Воронцов предложил выражения для определения максимальной скорости вращения (w_{max}) и внешнего диаметра (D) рабочего органа, а так же производительности (Q) шнекового смесителя периодического действия [24].

$$\omega_{\text{max}} = \sqrt{g(\sin \alpha - \cos \alpha) / R(\cos \alpha \cdot \cos \varphi - f \cos \varphi \cdot \sin \alpha - 2f)}, \text{с}^{-1} \quad (1.20)$$

где R – внешний радиус шнека, м;

f – коэффициент трения корма;

α, φ – углы винтовой линии шнека и подъема частиц, соответственно; град.

Производительность Q , шнекового смесителя периодического действия

$$Q = \pi \frac{D^2 - d^2}{2} \omega S \gamma \Psi, \text{кг}/\text{с} \quad (1.36)$$

где: D, d – внешний и внутренний диаметр рабочего органа, мм;

Ψ – коэффициент, учитывающий снижение производительности.

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,48\pi g \Psi \text{tg} \alpha \sqrt{\frac{2g(f \sin \alpha - \cos \alpha)}{R(\cos \alpha \cdot \cos \varphi - f \cos \varphi \cdot \sin \alpha - 2f)}}}}, \text{мм} \quad (1.37)$$

Для определения частоты вращения рабочего органа аналогичного смесителя Р.К. Курбанов предложил выражение [79].

$$n_{\text{ш}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(f \cos \alpha - \cos \beta + \sin \alpha)}{r - \frac{1}{\pi} f \Psi_1 (D - d)}}, \text{с}^{-1} \quad (1.38)$$

где: β – угол между векторами действующих сил, град; r – расстояние от оси вращения шнека до центра массы, размещенного на нем продукта, м; f – коэффициент трения; Ψ_1 – коэффициент снижения скорости.

Методика расчёта конструкций спирально-ленточных смесителей (рис. 1.23) подробно представлена в работе В.В. Коновалова [64].

Минимальная (Q_{min}) и максимальная (Q_{max}) производительность, кг/с, рабочего органа

$$Q_{min} = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (D^2 - d^2) \cdot \omega \cdot r_c \cdot \rho \cdot \psi \cdot \sin \alpha_c \cdot (\cos \alpha_c - f \cdot \sin \alpha_c), \text{ кг/с} \quad (1.39)$$

$$Q_{max} = 3,14 \cdot (D^2 - d^2) \cdot n \cdot S \cdot \rho \cdot \psi \quad \text{кг/с} \quad (1.40)$$

где: D – наружный диаметр шнека, м;

d – внутренний диаметр шнека, м;

ω – угловая скорость ленточного шнека, м/с,

r_c – средний радиус ленточного шнека, м;

ρ – плотность смеси, кг/м³;

ψ – коэффициент заполнения смесителя;

α_c – средний угол развертки винта, рад;

f – коэффициент трения смеси;

n – частота рабочего органа, с⁻¹;

S – шаг ленточной навивки, м.

Кратностью циркуляции массы в смесителе, автором предложено считать отношение длительности смешивания t_c к времени однократного смешивания t_{1b} .

$$K_u = \frac{t_c}{t_{1b}}, \text{ с} \quad (1.41)$$

Производительность спирально-ленточного смесителя (Q_{cm} , кг/с),

$$Q_{cm} = V \cdot \rho \cdot \frac{\psi}{t_u}, \quad \text{кг/с} \quad (1.42)$$

где V – объем бункера смесителя, м³.

Затрачиваемая мощность на привод (N_{cm}),

$$N_{cm} = \frac{0,01 \cdot \psi}{0,25 \cdot \eta} \cdot K \cdot Q_{max} \cdot L, \quad \text{кВт} \quad (1.43)$$

где: η – коэффициент полезного действия смесителя;

K – коэффициент сопротивления движению корма;

L – длина камеры смешивания, м.

Для определения конструктивно-технологических параметров лопастных смесителей В.В. Коновалов предлагает следующие формулы.

Объем цилиндрического смесителя V , м³

$$V = \frac{Q \cdot T}{\rho \cdot k} \quad (1.44)$$

где Q – производительность смесителя, кг/с; T – время приготовления корма, с; ρ – плотность кормосмесисмеси, кг/м³; k – коэффициент заполнения.

Диаметр камеры смешивания D , м

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot c}} \quad (1.45)$$

где c – отношение длины и диаметра смесительной камеры.

Длина смесительной камеры L , м

$$L = c \cdot D \quad (1.46)$$

Максимальная частота вращения вала n_{\max} , с⁻¹:

$$n_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2g}{D_1}} \quad (1.47)$$

Ориентировочный шаг установки лопастей S_1 , м

$$S_1 = 0.5 \cdot D_1 \quad (1.48)$$

Выражение для определения производительности лопастного смесителя непрерывного действия Q_h :

$$Q_h = 1,5 \pi D_1^2 S \cdot n \cdot \rho \cdot k_2 \cdot \psi, \text{ кг/с} \quad (1.49)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий конструктивные параметры лопастей.

Затрачиваемая мощность на привод лопастного смесителя непрерывного действия (N)

$$N = \frac{Z}{10^5 \cdot \eta} (P_p \cdot v_p + P_o \cdot v_o), \text{ кВт} \quad (1.50)$$

где P_p , P_o – соответственно радиальное и осевое усилия на лопасти, Н; v_p , v_o – соответственно радиальная и осевая скорость материала на лопасти, м/с.

Скорость радиальная v_p и осевая v_o , м/с соответственно будут

$$v_p = 2\pi n \left(\frac{D_1}{2} \cos \beta + B \right), \quad (1.51)$$

$$v_o = v_p \cos \beta \sin \beta$$

Заслуживает внимание процесс смешивания в спирально-винтовых и шнековых устройствах. Данному вопросу посвятили свои научные исследования многие ученые, такие как С.М. Ведищев [214], Х. Геррман [28], Х. А.М. Григорьев [31], И.Э. Груздев, Р.Г. Мирзоев, В.И. Яниев [42], В.А. Евстратов [38], Ю. М. Исаев [47], П.А. Преображенский [138], Раскатова Е.С. [142], А.С. Фомин [207], В.Ф. Хлыстунов [209], и другие.

Х. Геррман, И.Э. Груздев, Р.Г. Мирзоев, В.И. Яниев в своих работах предлагают определять производительность винтового конвейера по формуле [28, 42]:

$$Q = 47D^2 \cdot \psi \cdot S \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1.36)$$

где D – внешний диаметр шнека, м; ψ – коэффициент заполнения смесительной камеры; S – шаг навивки шнека, м; n – частота вращения рабочего органа, мин^{-1} ; γ_0 – объемная масса смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – коэффициент угла наклона рабочего органа, учитывающий снижение производительности.

По мнению Исаева Ю.М., мощность N_3 , кВт, затраченная на привод шнекового транспортера будет [47]

$$N_3 = Q \cdot H \left[1 + \mu_1 \frac{\cos \beta \cdot \cos \varphi_1}{\cos(\alpha + \beta + \varphi_1) \cdot \sin \alpha} + \frac{\pi^2 \cdot n^2}{g} \cdot \frac{D \cdot \mu_2}{8} \cdot \left(\frac{n_k}{n} \right)^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{n}{n_k - 1} \right)^2 \text{tg}^2 \alpha}} \right], \quad (1.52)$$

где: Q – производительность шнекового транспортера, $\text{кг}/\text{с}$;

H – высота перемещения массы, м;

μ_1, μ_2 – коэффициенты трения о шнек и трубу;

φ_1 – угол скольжения материала и навивки шнека;

α – угол подъема винтовой навивки шнека;

n – частота вращения шнека, с^{-1} ;

D – внешний диаметр шнека, м;

При этом угол $\beta = \arctg \alpha \left(\frac{n}{n_k - 1} \right)$.

Для определения затрачиваемой мощности (N) на привод спирального транспортера и производительности смесителя (Q) Ю.М. Исаев предлагает выражения [47, стр. 57].

$$N = \eta_z \cdot \eta_m \cdot \frac{W \cdot L \cdot \omega^{\text{II}}}{367} + \frac{W \cdot H}{367}, \text{ кВт} \quad (1.53)$$

где: ω^{II} – эмпирический коэффициент; η_z – коэффициент, учитывающий повышение затрачиваемой мощности при пуске; η_m – КПД смесителя; L, H – длина и высота транспортера, м; W – производительность транспортера, т/ч;

$$Q = 3600 k_n \cdot \frac{\pi}{4} \left(D^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \frac{\pi n}{30} \cdot R \frac{\sin \beta}{\sin (\beta + \alpha)} \cdot \gamma, \quad (1.54)$$

где: D, R – диаметр и радиус смешивающей камеры, м; k_n – коэффициент заполнения смешивающей камеры; δ – диаметр проволоки спирали, м; α – угол наклона винтовой линии; n – частота вращения спирали, мин⁻¹; β – угловой параметр; γ – объемная масса смеси, кг/м³.

Для расчета производительности горизонтальных гибких шнеков П.А. Преображенский предлагает выражения [138]:

для гибких шнеков размещенных в кожухе

$$Q = 150 \frac{n_g \cdot d^2}{D_K} \cdot \left(D_K^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right) \cdot \text{tg } \alpha \cdot \rho, \text{ т/ч} \quad (1.55)$$

для гибких шнеков без кожуха

$$Q_0 = 35 \cdot d^2 \cdot S \cdot n_g \cdot \rho \quad (1.56)$$

где: n_g – частота вращения гибкого шнека, мин⁻¹; d, S – наружный диаметр и шаг спирали, м; D_K – внутренний диаметр кожуха, м; δ – диаметр проволоки, м; α – угол наклона навивки гибкого шнека, d_{cp} – средний диаметр гибкого шнека, м; φ – угол трения материала по спирали; ρ – объемная масса материала, кг/м³.

М. Ю. Исаев утверждает, что при рассмотрении движения частицы корма в спиральном транспортере его можно описать уравнением [47]:

$$\left\{ \begin{array}{l} m(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) = mg \cos \gamma - N_2 + N_1 \sin \theta \\ m(2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) = N_1 \sin \alpha \cos \theta + f_1 N_1 \cos \alpha - mg \sin \gamma \cos \lambda - f_2 N_2 \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}} \frac{\pi}{4} \\ m\ddot{z} = N_1 \cos \alpha \cos \theta - f_1 N_1 \sin \alpha - mg \sin \gamma \sin \lambda - f_2 N_2 \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}} \end{array} \right. \quad (1.57)$$

где: m – масса частицы корма, кг; α – угол отклонения спирали; r – радиус кожуха транспортера, м; N_1, N_2 – сила реакция витка спирали и кожуха транспортера, соответственно; f_1, f_2 – коэффициент трения о спираль и кожух транспортера; γ, λ, φ – углы характеризующие положение частицы относительно спирали и кожуха.

Основным недостатком подхода профессора М.Ю. Исаева при теоретическом рассмотрении движения частицы материала в спирально-винтовом транспортере, что он рассматривал движение материальной точки не в любой точке конвейера, а с начального нижнего положения точки, находящейся на оси Y . Решение подобных уравнений обычно проводят численным методом.

Анализ выполненных теоретических исследований показал, что при достаточно большом объеме работ посвященных процессу смешивания кормов и обоснованию технических средств его осуществления, остается ряд вопросов, которые недостаточно проработаны и решены. В том числе не существует единого мнения по критерию оценки качества смешивания.

Представленные аналитические зависимости по обоснованию параметров, используемых при приготовлении кормовых смесей технических средств, имеют частный характер, касающийся конкретных машин.

1.6 Постановка проблемы, цель работы и задачи исследования

При увеличении производства крахмала и патоки, а так же ужесточения экологических требований проблема утилизации ППКПП в настоящее время особенно актуальна. Одним из решений данной проблемы является использование ППКПП в качестве кормов сельскохозяйственным животным. Таким образом, возможно, улучшить экологическое состояние окружающей среды и обеспечить производителей животноводческой продукции кормам, с высоким содержанием протеина, при минимальной себестоимости. При этом реализовать данное решение в настоящее

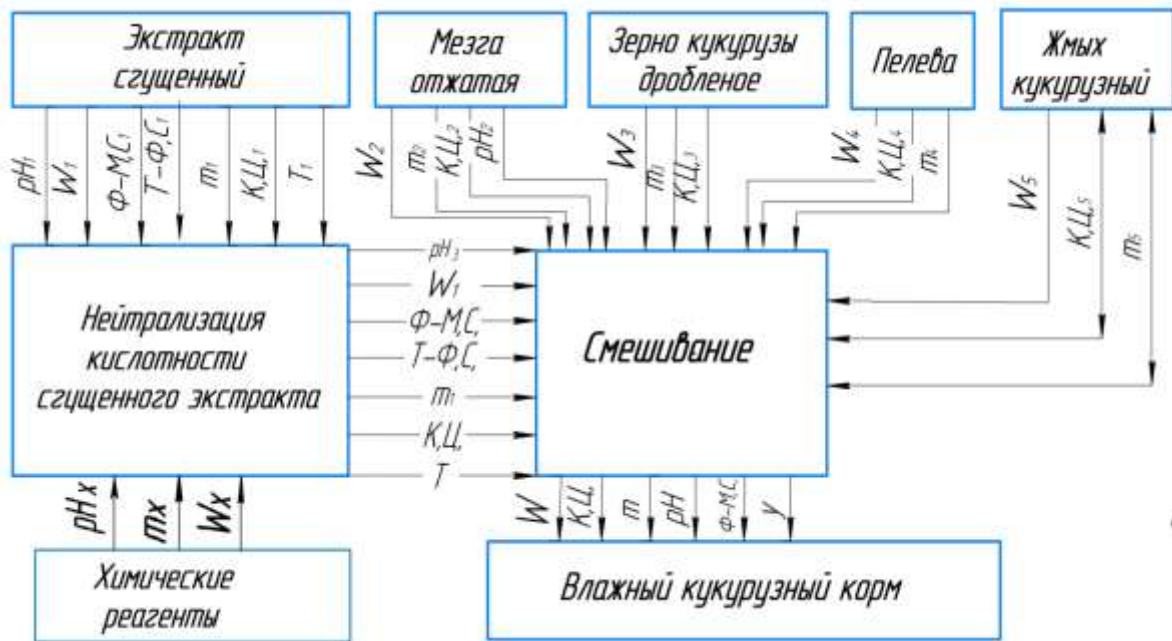
время практически не представляется возможным по причине отсутствия соответствующих технологий и технических средств.

СКЭ, ОКМ, зерно кукурузы дробленое, пелера и жмых кукурузный обладают высокими кормовыми качествами, а так же хорошей усвояемостью. Часть ППКПП, такая как зерно кукурузы дробленое, пелера и жмых в настоящее время очень востребован сельскохозяйственными производителями. Это обусловлено тем, что эти кормовые компоненты длительного хранения. Однако в количественном отношении их значительно меньше, чем СКЭ и ОКМ. Кроме того СКЭ обладает существенным недостатком из-за высокой кислотности.

В настоящее время СКЭ либо сбрасывается в отстойники и затем в окружающую среду, нанося существенный вред экологии, либо высушивается и используется как белковый компонент корма, при этом количество кислоты в нем не уменьшается. Уровень кислотности СКЭ (рН 4,2...4,4), обусловлен наличием органических кислот, молочной и фитиновой.

Поэтому необходимо разработать технологию, обеспечивающую эффективное использование ППКПП в рационах кормления животных и технические средства для её осуществления. Технология должна обеспечивать использования всего комплекса ППКПП. При этом кормовая смесь должна иметь высокую питательную ценность и отвечать всем зоотехническим требованиям.

Модель функционирования технологической линии приготовления корма из ППКПП основывается на двух процессах, нейтрализации кислотности СКЭ и смешивания (рис. 1.25). Параметрами процесса нейтрализации являются масса компонентов смеси, химические реагенты и их число, теплофизические свойства СКЭ и готового ВКК (Т-Ф.С), значение рН и температуры (Т) и продолжительность процесса. Параметрами процесса смешивания являются физико-механические и теплофизические свойства ППКПП (Ф-М.С.) их массовая доля в смеси (m), влажность (СВ). Также важными являются качественные и количественные показатели однородность смеси (y) и энергоёмкость процесса.



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, $T\text{-М.С}_2$ – теплофизические свойства мезги, $T\text{-М.С}_3$ – теплофизические свойства зерна кукурузы дробленого, $T\text{-М.С}$ – 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 пелёвы, m_5 – масса жмыха кукурузного, m – масса корма; $KЦ_1$ – кормовая ценность экстракта, $KЦ_2$ – кормовая ценность мезги, $KЦ_3$ – кормовая ценность зерна кукурузы дробленого, $KЦ_4$ – кормовая ценность пелёвы, $KЦ_5$ – кормовая ценность жмыха кукурузного, $KЦ$ – кормовая ценность корма; T_1 – температура экстракта до нейтрализации, T – температура экстракта после нейтрализации, y – степень однородности смеси.

Рисунок 1.25 – Модель функционирования технологии приготовления ВКК из ППКП.

На основании выше изложенного целью работы является.

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

Для достижения цели необходимо решить задачи.

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.

Глава 2. Теоретическое обоснование технологии и технических средств приготовления ВКК из ППКПП

2.1 Технологии приготовления ВКК из ППКПП

Представленный в первой главе материал показал, что проблема использования и утилизации ППКПП в нашей стране остается актуальной. С позиции сохранности и безотходности производства лучшим вариантом было бы приготовление СКК. Однако высушенные до равновесного состояния ППКПП, такие как ОКЭ и ОКМ, имеют очень высокую себестоимость. Из-за того, что с основного производства они выходят с высокой влажностью и для удаления требуется значительные энергетические затраты. В нашей стране при сравнительно низких ценах на зерно относительно мировых, спрос на СКК из ППКПП остается на достаточно низком уровне, что требует другого решения проблемы.

Наиболее простым и эффективным решением является приготовление из ППКПП ВКК, отвечающих зоотехническим требованиям, особенно по их кислотности, которая зависит от кукурузного экстракта. Нейтрализацию кислотности СКЭ до показателя рН – 6,0...7,0 достаточно проблематично выполнить, соблюдая при этом зоотехнические требования содержания химических соединений в кормах.

На основании выше изложенного был разработан способ приготовления ВКК из ППКПП с нейтрализацией кислотности СКЭ, новизна которого подтверждена патентом РФ № 2336722 [120].

Способ поясняется рисунком 1.1 и реализуется следующим образом. Емкость 1 заполняется СКЭ на 80...85%. Одновременно готовятся водные растворы реагентов в емкости 2 гидроксида кальция, 3 – гидроксида натрия. При непрерывном перемешивании СКЭ в емкость 1 насосом дозатором 4 подается водный раствор оксида кальция. При значении кислотности рН 5,0...5,2 подачу прекращают. Затем в емкость 1 подают гидроксид натрия, контролируя значение рН СКЭ. При значениях рН 5,9...6,3 подачу гидроксида кальция прекращают. Нейтрализованный СКЭ с помощью дозатора 5 и ОКМ из бункера-дозатора 6 подают в смеситель 7 в соотношении 1:5,4. Далее готовый ВКК направляют в бункер временного хранения 8.

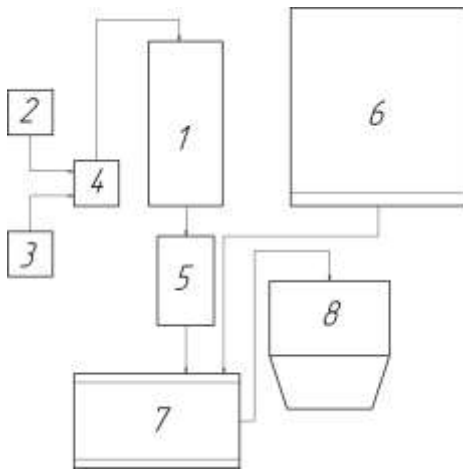


Рисунок 2.1 – Блок-схема способа приготовления ВКК.

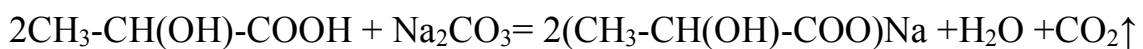
Содержание 20..25% молочной кислоты ($C_3H_6O_3$) и 6...7% фитиновой кислоты ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) обеспечивают pH СКЭ в диапазоне 4,2...4,4. Данные органические кислоты равносильны, поэтому делаем допущение и принимаем, что их содержание в СКЭ составляет 30% в пересчете на сухое вещество [17, 59].

Нейтрализовать органические кислоты в СКЭ можно мелом ($CaCO_3$), натриевой солью (Na_2CO_3), гидроксидом натрия ($NaOH$), гидроксидом кальция – $Ca(OH)_2$ и оксидом кальция (CaO). Данные химические соединения активно взаимодействуют с органическими кислотами. Далее рассмотрим варианты взаимодействия на примере с молочной кислотой.

Реакция взаимодействия $C_3H_6O_3$ с $CaCO_3$ описывается уравнением



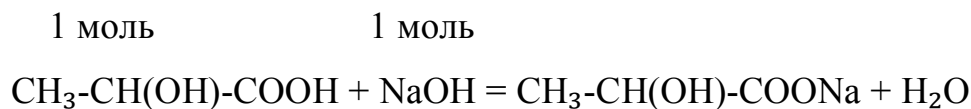
Реакция взаимодействия $C_3H_6O_3$ с Na_2CO_3 описывается уравнением



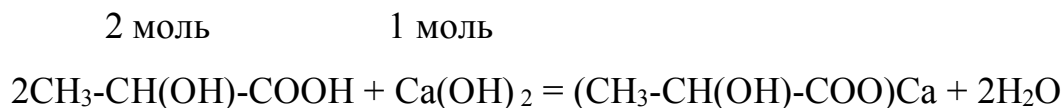
В результате реакций образуются соли молочной кислоты $(CH_3-CH(OH)-COO)_2Ca$ и $(CH_3-CH(OH)-COO)Na$ которые способствуют образованию буфера pH, для преодоления которого потребуется значительного увеличения количества Na_2CO_3 и $CaCO_3$. Что в конечном итоге приведет перенасыщению корма данными химическими соединениями. Так же при протекании данных химических реакций наблюдается вспенивание СКЭ с выделением углекислого газа.

При подготовке кормов к скармливанию, в частности при обработке соломы и снижения кислотности силоса используют гидроксид натрия ($NaOH$). При

использовании NaOH для нейтрализации молочной кислоты в СКЭ получим следующее уравнение химической реакции взаимодействия.

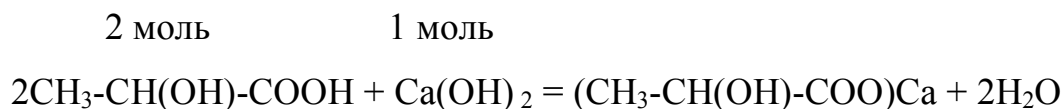


Аналогичным образом, возможно использовать в качестве реагента гидроксид кальция (Ca(OH)₂). Химическая реакция взаимодействия будет аналогичной



Гидроксид натрия и гидроксид кальция относятся к сильным щелочам, поэтому данными реагентами, возможно, полностью нейтрализовать молочную кислоту СКЭ.

Возможно, нейтрализовать кислотность СКЭ оксидом кальция, негашеной известью (CaO). Взаимодействие молочной кислоты с оксида кальция происходит по уравнению химической реакции



Два последних уравнения химических реакций аналогичны, ни показывают что, по сравнению с гидроксидом натрия гидроксида кальция или оксида кальция потребуется в два раза меньше.

Поэтому нами было предложено использовать гидроксид натрия и гидроксид кальция (или оксид кальция) совместно для нейтрализации молочной кислоты в СКЭ.

Как было сказано выше, для определения количества реагентов принимаем влажность СКЭ равной 58% и содержание в нем органических кислот в пересчете на молочную составляет 30%. Тогда в одном килограмме СКЭ находится 120 граммов органических кислот. При известном значении $M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 90\text{г/моль}$

$$u(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = m/M, \text{ моль}$$

$$u(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 120/90 = 1,33 \text{ моль}$$

Из представленного выше уравнения реакции взаимодействия гидроксида натрия с молочной кислотой следует

$$u(\text{NaOH}) = u(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 1,33 \text{ моль}$$

для нейтрализации кислотности одного килограмм СКЭ необходимо

$$m(\text{NaOH}) = u \times M$$

$$m(\text{NaOH}) = 1,33 \text{ моль} \times 40 \text{ г/моль} = 53,2 \text{ г}$$

Зоотехнические требования регламентируют содержание поваренной соли (NaCl) в кормах не более [57].

Из мольного соотношения:

$$\text{NaOH} - 1 \text{ моль} - 40 \text{ г/моль}$$

$$\text{NaCl} - 1 \text{ моль} - 58,5 \text{ г/моль}$$

Масса гидроксида натрия сопоставима с массой поваренной соли равной

$$m(\text{NaCl}) = 1,4 \times 58,5 \approx 81,9 \text{ г}$$

При потреблении тридцати килограммов ВКК в сутки, потребление поваренной соли составит

Суточное потребление NaCl составит:

$$m(\text{NaCl}) = 30 / 6,4 \times 81,9 = 384 \text{ г}$$

Полученное значение превышает норму предельно допустимого потребления поваренной соли для крупного рогатого скота [105, 137].

Из уравнения реакции взаимодействия гидроксида кальция с молочной кислотой для нейтрализации 2 моль $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ потребуется 1 моль $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Таким образом, для нейтрализации одного килограмма ВКК потребуется

$$u(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1/2 u(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) 1,33 = 0,66 \text{ моль}$$

при молярной массе гидроксида кальция равной 74 г/моль

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = u \times M = 0,66 \times 74 \approx 50 \text{ г}$$

тогда

$$m(\text{Ca}) = 0,7 \times 40 = 26,4 \text{ г}$$

При потреблении 30 килограммов ВКК в сутки, масса кальция составит

$$m(\text{Ca}) = 30 / 6,4 \times 26,4 = 131,3 \text{ г}$$

Данное значение не превышает допустимую суточную норму кальция для высокоудойных коров [162].

Из уравнения реакции взаимодействия оксида кальция с молочной кислотой для нейтрализации 2 моль $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ потребуется 1 моль CaO , при молярной массе оксида кальция равной 56 г/моль,

$$m(\text{CaO}) = u \times M = 0,66 \times 56 \approx 37 \text{ г.}$$

На основании расчетов следует, что нейтрализовать кислотность СКЭ значения $\text{pH} = 7$ возможно гидроксидом натрия, гидроксидом кальция и оксидом кальция. Для достижения значения $\text{pH} = 7$ СКЭ потребуется $\text{NaOH} - 53 \text{ г/кг}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 50 \text{ г/кг}$ и $\text{CaO} - 37 \text{ г/кг}$.

Вариант использования NaOH невозможно реализовать, так как нарушаются зоотехнические требования по содержанию натрия в ВКК. При использовании CaO и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ содержание кальция в ВКК позволяет скармливать их только высокоудойным коров. Так же необходимо учитывать что данные химические элементы параллельно могут попадать животному с другими кормами.

Известно что, ОКМ обладает слабощелочной средой, при ее смешивании с нейтрализованным СКЭ дополнительно понизится значение pH готового ВКК. Поэтому считаем, что будет рациональным решением понижение кислотности СКЭ до значения $\text{pH} = 6,0 \dots 6,3$. Так же известно, что слабокислые корма лучше поедаются животными.

По результатам выполненных исследований, с учетом зоотехнических требований, предлагается осуществлять нейтрализацию кислотности СКЭ до значения $\text{pH} = 6,0 \dots 6,3$ совместно двумя реагентами – оксидом кальция и гидроксидом натрия. Для достижения требуемого значения pH необходимо $0,019 \text{ кг}$ оксида кальция и $0,012 \text{ кг}$ гидроксида натрия на 1 кг СКЭ.

Исходя из расчета при использовании в суточном рационе животных ВКК массой 30 кг , потребление кальция (Ca_{2+}) составит – 64 г , а натрия в перерасчете на хлорид натрия (NaCl) – 79 г . По зоотехническим требованиям предъявляемым к кормам, данные значения значительно ниже суточных норм потребления кальция и натрия [44, 105, 106, 137].

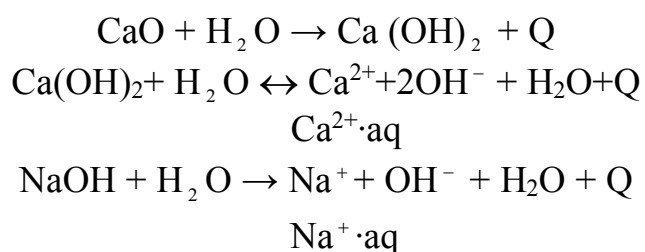
Гидроксид натрия производится в виде гранул и чешуек хорошо растворяется в воде. Для нейтрализации кислотности, возможно, использовать гидроксид натрия в сухом виде, но при этом необходимо его дозированная подача при постоянном перемешивании СКЭ, это позволит исключить местное перегревание СКЭ и образования комков.

Оксид кальция предварительно необходимо смешивать с водой в пропорции 1:3. Первоначально смешать CaO и H₂O в пропорции 1:1, обеспечив тем самым гашение извести. Затем в полученный гидроксид кальция добавить еще 2 части воды в результате получается известковое молочко. Заключительной стадией является удаление примесей.

СКЭ обладает высокой вязкостью, которая снижается при повышении температуры. Химические реакции, происходящие при нейтрализации его органических кислот, являются экзотермическими, поэтому высокая вязкость СКЭ приводит к местному перегреву и образованию комков.

Повышение температуры сгущенного кукурузного экстракта приводит к уменьшению значений его вязкости и липкости. При температуре от 45 до 55°C значение липкости сгущенного кукурузного экстракта достигает минимума. Поэтому рациональным решением будет нагревание сгущенного кукурузного экстракта до указанной температуры, это позволит уменьшить его кинематическую и динамическую вязкости, а также снизить липкость.

Известно, что в результате химических реакций, оксида кальция и гидроксида натрия с водой выделяется тепловая энергия. Её следует эффективно использовать для подогрева сгущенного кукурузного экстракта и обеспечения качественного процесса нейтрализации его кислотности с минимальными затратами [139, 210]. Теплота выделяется в ходе трех экзотермических химических реакций. Взаимодействие с водой оксида кальция, гидроксида кальция и гидкоксида натрия.

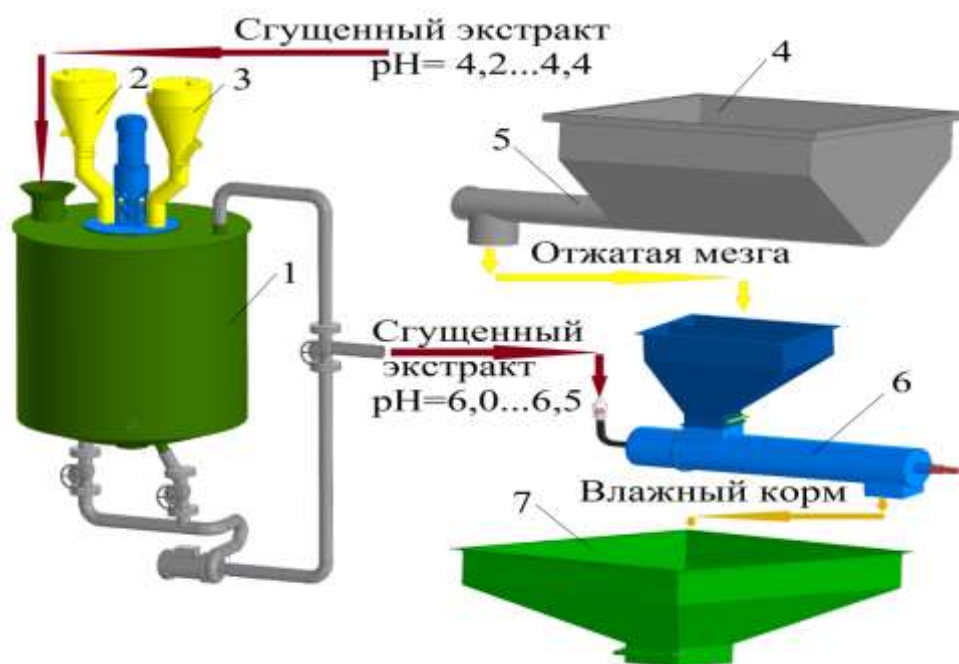


В результате экзотермических химических реакций суммарное количество выделяемой теплоты составит 136690 кДж.

Химические реакции взаимодействия молочной и фитиновой кислот с реагентами так же являются экзотермическими, что позволяет дополнительно повысить температуру ВКК.

С целью повышения эффективности нейтрализации кислотности ВКК и рационального использования теплоты образуемой в результате приготовления растворов реагентов нами была предложена технология приготовления ВКК, новизна которой подтверждена патентом РФ № 2396838 [121]. Отличительной особенностью данной технологии является то, что теплота, образуемая, при приготовлении водного раствора реагентов используется для нагревания ВКК.

Конструктивно-технологическая схема линии приготовления ВКК из ППКПП представлена на рисунке 2.2.



1 – нейтрализатор СКЭ; 2, 3 – бункер-дозатор оксида кальция и гидроксида натрия; 4 – бункер ОКМ, 5 – дозатор ОКМ; 6 – смеситель; 7 – бункер-накопитель готового ВКК.

Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления ВКК из ППКПП.

Для приготовления ВКК используются СКЭ ($W=58\%$) и ОКМ ($W=63...65\%$). При этой необходимые реагенты оксид кальция и гидроксид натрия из расчета 19 кг CaO и 12 кг NaOH на одну тонну СКЭ.

В нейтрализаторе в присутствии СКЭ происходит приготовления раствора реагентов путем смешивания с водой оксида кальция и гидроксида натрия. Выделяемая теплота нагревает СКЭ, при этом его вязкость значительно понижается. В результате смешивания водного раствора реагентов с СКЭ происходит

нейтрализация, содержащихся в нем органических кислот. СКЭ и ОКМ дозировано подаются в смеситель, готовый ВКК направляется в бункер накопитель с дальнейшей отгрузкой в транспортные средства [120, 121, 161, 169, 215].

Использование данной технологии позволяет приготавливать ВКК, соответствующие зоотехническим требованиям при этом, за счет рационального использования образуемой теплоты для нагрева СКЭ снизить затраты производства.

Для реализации предложенной технологии приготовления ВКК необходимо разработать основные технические средства.

2.2 Технические средства для реализации разработанной технологии

2.2.1 Нейтрализатор СКЭ

При разработке нейтрализатора кислотности СКЭ большое значение отводится учету его физико-механических свойств и тепловому эффекту от протекающих при нейтрализации химических реакций.

Повышение температуры сгущенного кукурузного экстракта приводит к уменьшению значений его вязкости и липкости. В диапазоне температур от 45 до 55°C значение липкости сгущенного кукурузного экстракта достигает минимума. Поэтому рациональным решением будет нагревание сгущенного кукурузного экстракта до указанной температуры, это позволит уменьшить его кинематическую и динамическую вязкости, а также снизить липкость.

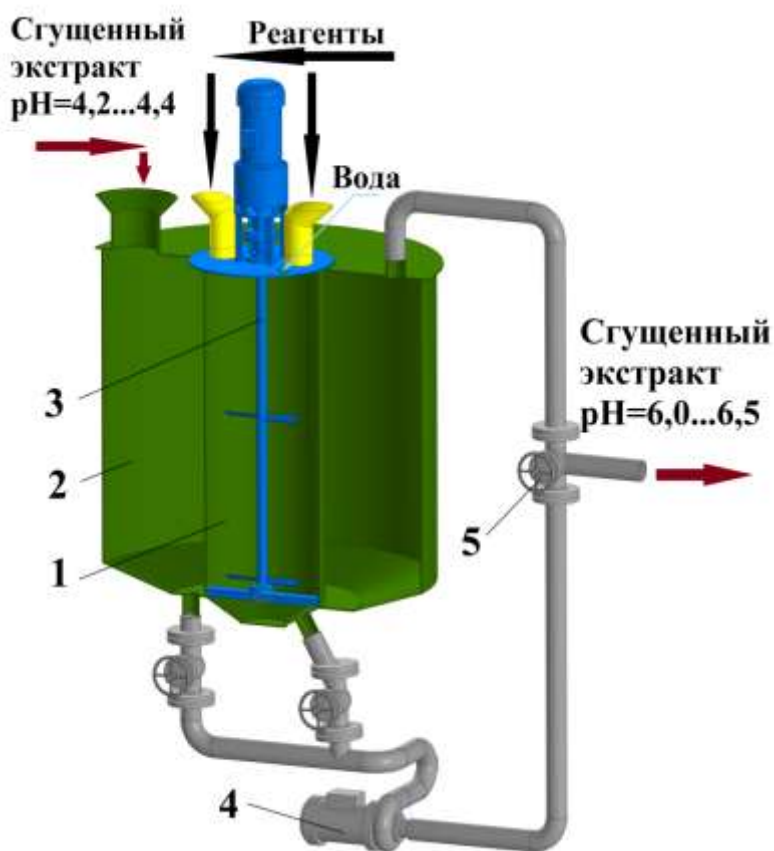
Как было изложено выше в результате химических реакций оксида кальция и гидроксида натрия с водой выделяется тепловая энергия. Её следует эффективно использовать для подогрева сгущенного кукурузного экстракта и обеспечения качественного процесса нейтрализации его кислотности с минимальными затратами [139, 210].

Рассмотренные особенности были учтены при разработке нейтрализатора кислотности СКЭ. Таким образом, предложена конструкция нейтрализатора, представляющая собой теплообменный аппарат, состоящий из двух цилиндрических емкостей расположенных одна в другой концентрично. Пространство, образуемое стенками внутреннего и внешнего цилиндров, предназначено для СКЭ. Пространство внутреннего цилиндра предназначено для приготовления водного раствора реагентов. Передача теплоты будет происходить через стенку внутреннего цилиндра, поэтому она

должна иметь минимальную толщину. Для сокращения тепловых потерь нейтрализатор необходимо теплоизолировать.

В результате экзотермических химических реакций при приготовлении водного раствора реагентов во внутренней емкости нейтрализатора выделяемая теплота позволит нагреть сгущенный кукурузный экстракт, находящийся во внешней емкости на 13...15°C.

Конструктивно-технологическая схема нейтрализатора представлена на рисунке 2.3.



1 – емкость для приготовления водного раствора реагентов; 2 – емкость для СКЭ; 3 – лопастной вал; 4 – насос-смеситель; 5 – трехходовой кран

Рисунок 2.3 – Конструктивно-технологическая схема нейтрализатора СКЭ.

В емкости 1, 2 заливается вода и СКЭ соответственно. Затем в емкость 1, при постоянном перемешивании лопастным валом 3 подают реагенты, из расчета 19 кг CaO и 12 кг NaOH на одну тонну СКЭ. В результате химических реакций образуемая теплота нагревает СКЭ. Далее водный раствор реагентов и СКЭ поступают в насос-смеситель 4, который перекачивает их в емкость 2. При смешивании происходит химическое взаимодействие гидроксидов кальция и

натрия с органическими кислотами СКЭ и как результат их нейтрализация. При положении трехходового крана 5, обеспечивающего выгрузку СКЭ, он удаляется насос-смесителем 4.

Подробное описание конструкции и принцип работы нейтрализатора кислотности СКЭ раскрыты в опубликованных работах [103, 122, 161, 169, 177, 185, 203, 231].

Предложенная конструкция нейтрализатора проста по конструкции и эффективна по осуществлению технологического процесса. Новизна рассмотренного способа нейтрализации кислотности СКЭ подтверждена патентом РФ на изобретение № 2396838.

2.2.2 Шнеко-лопастной смеситель

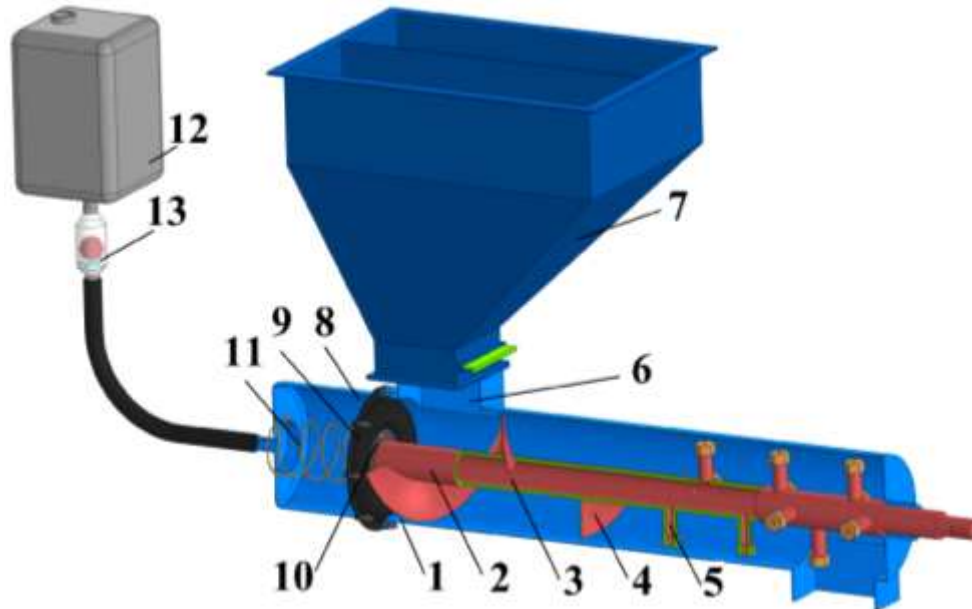
Качество смешивания кормов оценивается однородностью смеси. Поэтому при приготовлении ВКК необходимо СКЭ равномерно распределить по всему объему ОКМ. Проблема смешивания СКЭ и ОКМ заключается в различной структуре данных продуктов. Первый – вязкая жидкость, второй – кашеобразный. Дополнительным препятствием при смешивании является остаточный крахмал, который находится в клейстеризованном виде [187, 202, 204].

С учетом выше изложенного разработана конструкция смесителя с комбинированным шнеко-лопастным рабочим органом. Данная конструкция смесителя позволяет подавать СКЭ непосредственно в зону смешивания, равномерно распределяя его по всему объему.

Конструкция разработанного шнеко-лопастного смесителя поясняется рисунком 2.4.

Отличительной особенностью разработанного смесителя является его рабочий орган. Он комбинированный – шнеколо-лопастной и имеет полую центральную трубу. Лопастей рабочего органа также полые, на концах имеют жеклеры. При вращении рабочий орган совершает дополнительно возвратно-поступательные движения. В торце корпуса смесителя установлена камера СКЭ с мембраной. Периферийная часть мембраны закреплена между корпусом смесителя и камерой СКЭ, а в центре она имеет подшипниковую опору в которую установлен рабочий орган. Камера СКЭ соединена с накопительной емкостью и имеет обратный клапан. Таким образом

камера СКЭ, мембрана и обратный клапан выполняют роль насоса (далее по тексту мембранный насос).



1 – корпус; 2 – рабочий орган; 3 – вал полый; 4 – конвейер шнековый; 5 – лопасть полая; 6 – входная горловина; 7 – бункер; 8 – камера СКЭ; 9 – мембрана; 10 – опора; 11 – пружина; 12 – емкость накопительная СКЭ; 13 – клапан обратный.

Рисунок 2.4 – Конструктивная схема смесителя.

Смешивание СКЭ и ОКМ осуществляется следующим образом. Накопительная емкость заполняется нейтрализованным СКЭ, при этом происходит заполнение камеры СКЭ. При вращении рабочего органа ОКМ забирается из бункера и перемещается в зону смешивания. При этом рабочий орган и мембрана преодалевая действие пружины перемещаются в сторону камеры СКЭ, создавая в ней избыточное давление. Обратный клапан закрывается и СКЭ через полую трубу, лопасти и жиклеры поступает в зону смешивания. Возвратно-поступательное движения рабочего органа смесителя происходят по причине изменяющейся площади соприкосновения шнековой навивки и как следствия силы сопротивления при транспортировании ОКМ. За один оборот рабочий орган совершает одно возвратно-поступательное движение. Разработанная конструкция смесителя позволяет равномерно распределять СКЭ по всему объему ОКМ в зоне смешивания

Технический приоритет закреплен патентом РФ [123].

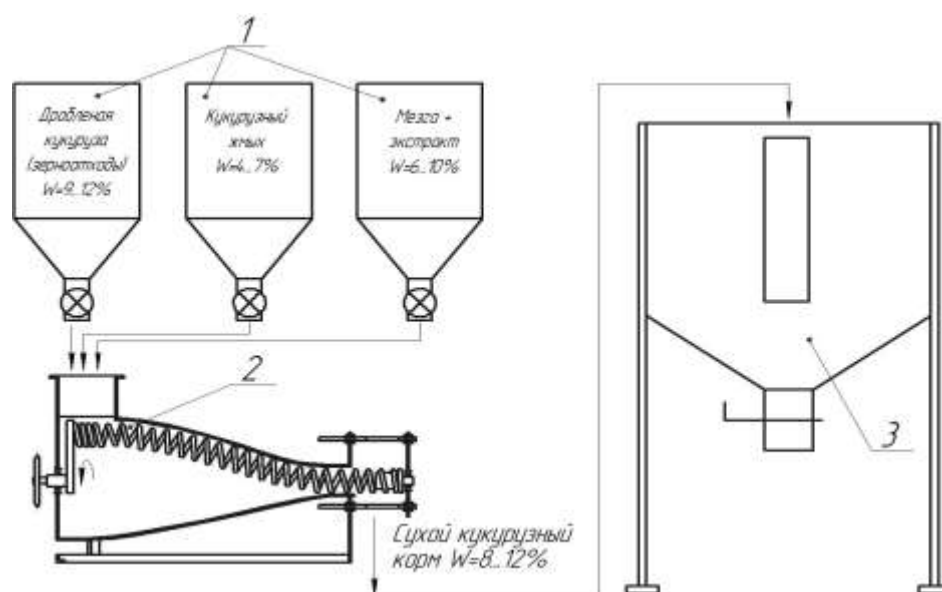
Конструкция и принцип работы разработанного смесителя подробно изложена в опубликованных работах [62, 123, 176, 177, 194, 195, 196].

2.2.3 Спиральный смеситель

Технология производство крахмала из кукурузы предусматривает первоначальным этапом сортировку зерна. Целью сортировки является отделение целого зерна от поврежденного, таким образом получают зерноотходы с влажностью 12...14%. При переработке зародыша кукурузного зерна образуется масло и жмых. Влажность кукурузного жмыха, при выходе с производства 8...9%.

Кроме того, на некоторых предприятиях, в основном, принадлежащим зарубежным компаниям, организована совместная сушка кукурузного экстракта и мезги с целью исключения экологического ущерба при утилизации этих ППКПП.

На основании выше сказанного, для приготовления СКК длительного хранения нами предлагается схема технологической линии, представленная на рисунке 2.5.



1 – бункеры дозаторы компонентов; 2 – смеситель; 3 – бункер накопитель кукурузного корма длительного хранения.

Рисунок 2.5 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления СКК.

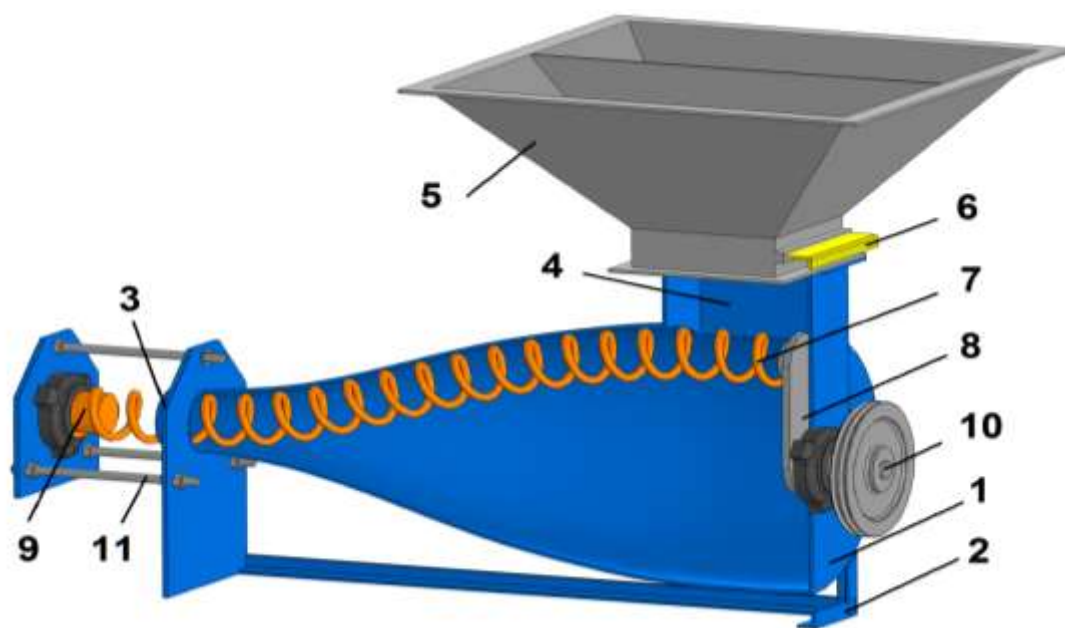
Использование данной технологической линии предусматривает использование ППКПП с влажностью не выше 14% , при этом рН сухого СКЭ должна быть в диапазоне 6,0...6,3. При использовании сухого СКЭ без предварительной нейтрализации в данную технологическую линию необходимо добавить бункеры-накопители и дозаторы для реагентов.

Приготовление СКК заключается в дозированной подаче компонентов с последующим их смешиванием. Полученная таким образом кормовая смесь является ценным белково-углеводным кормом. Он может быть реализован потребителю в рассыпном, фасованном виде, либо с последующим гранулированием.

Подробное описание предлагаемой технологической линии изложено в опубликованных работах [158, 173, 184, 201].

Основным процессом технологической линии приготовления кормов длительного хранения является смешивание.

Для реализации процесса смешивания, с учетом физико-механических свойств используемых компонентов, разработана конструктивно-технологическая схема смесителя со спиральным рабочим органом (патент РФ № 2492776). Конструктивно технологическая схема спирального смесителя представлена на рисунке 2.6.



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 2.6 – Спиральный смеситель.

Отличительной особенностью конструкции разработанного смесителя является его рабочий орган, представляющий собой цилиндрическую спираль с ведомой и ведущей цапфами, установленную в конусообразном корпусе. На ведущей цапфе спираль установлена через водило. Это обеспечивает спирали

сложное движение. Спираль вращается, вокруг своей оси при этом основная ее часть дополнительно совершает движение параллельно коническому корпусу.

Регулирования производительности смесителя осуществляется путем изменения шага спирали, для этого имеется механизм, установленный на ведомой цапфе.

Подробное описание конструкции и принципа работы разработанного спирального смесителя изложено в опубликованных работах [65, 109, 125, 157, 159, 174, 182, 193, 197, 198, 228].

Разработанная конструкция спирального смесителя позволит осуществить смешивание используемых компонентов с минимальными энергетическими затратами, при этом обеспечить требуемую однородность смеси.

2.3 Теоретическое обоснование процессов и параметров технических средств приготовления кормов из ППКПП

2.3.1 Теоретическое обоснования процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе

Для разработанной конструкции нейтрализатора кислотности СКЭ (рис.2.3) составим уравнение теплопроводности [11, 14,135].

Принимаем температуру среды в заданной точке с координатами (x, y, z) в момент времени t как $u(x, y, z, t)$.

Принимаем что рассматриваемая среда изотропна, тогда плотность, тогда удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности в заданной точке (x, y, z) будут выглядеть как $\rho(x, y, z)$, $c(x, y, z)$ и $k(x, y, z)$ соответственно. Интенсивность источника тепла в точке (x, y, z) в момент времени обозначим как $F(x, y, z, t)$.

Таким образом, функция $u = u(x, y, z, t)$ отражает уравнение распределения тепла:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(k \cdot \operatorname{grad} u) + F \quad (2.1)$$

При условии однородности рассматриваемой среды параметры c, ρ и k являются постоянными.

Из этого уравнение 2.1 будет выглядеть:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \cdot \Delta u + F, \quad (2.2)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа трехмерный, или

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) + F(x, y, z, t).$$

При условии отсутствия в однородном теле источников тепла, $F(x, y, z, t) \equiv 0$, уравнение теплопроводности примет вид:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right). \quad (2.3)$$

Чтобы решить дифференциальное уравнение необходимо определить начальные и граничные условия.

Начальное условие – распространение температуры в первоначальный момент времени

$$u|_{t=t_0} = u_0(x, y, z) \quad (2.4)$$

Граничное условие это тепловой режим на границе разделения сред S .

Таким образом, граничное условие может быть задано следующим образом:

– в точке поверхности задается температура;

$$u|_S = u_1, \quad (2.5)$$

где: u_1 – функция заданной точки поверхности S и времени t .

– задается тепловой поток q на поверхности S ;

$$-k \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = q, \quad (2.6)$$

где: n – внешняя нормаль к поверхности S .

При нулевом потоке, в случае теплоизолированной поверхности, граничное условие, возможно представить так:

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = 0. \quad (2.7)$$

– передача теплоты происходит от тела в окружающую среду с известной температурой. Для упрощения задачи передачи тепла примем допущение, теплообмен происходит по закону Ньютона.

поверхности тела происходит теплообмен с окружающей средой, температура u_1 которой известна. Закон теплообмена достаточно сложный, но для упрощения задачи он может быть принят в виде закона Ньютона, согласно которому количество тепла, передаваемое в единицу времени с единицы площади поверхности в окружающую среду, пропорциональна разности температур поверхности тела и окружающей среды u_1 :

$$q = h(u - u_1), \quad (2.8)$$

где h – коэффициент характеризующий теплообмен.

u , u_1 – температура поверхности тела и окружающей среды, соответственно.

Коэффициент h зависит от многих факторов, в дальнейшем делаем допущение и принимаем его как постоянную величину.

По закону сохранения энергии, граничные условия:

$$h(u - u_1) = -k \frac{\partial u}{\partial n} \text{ на } S$$

Преобразуя, данное выражение получим

$$\left[k \frac{\partial u}{\partial n} + h(u - u_1) \right] \Big|_S = 0 \quad (2.9)$$

В результате, с учетом принятых допущений, выполнение поставленной задачи распространения тепла в изотропном твердом теле представляется как решение уравнения теплопроводности, при этом удовлетворяющее начальному условию

$$u|_{t=t_0} = u_0(x, y, z)$$

и одному из граничных условий (2.5) – (2.8).

При альтернативной постановке граничных условий можно задать температуру на участке границы $S_1 \subset S$, а не поток $S_2 = S - S_1$. Но это более сложный вариант.

При введении системы ортогональных криволинейных координат решение поставленной задачи упрощается. Это позволяет значительно упростить формулировку начальных условий и при решении использовать метод разделения переменных.

Введем систему цилиндрические координаты (рис. 2.8).

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi, \quad z = z \quad (2.10)$$

$$(z \geq 0, -\pi < \varphi \leq \pi, -\infty < z < \infty)$$

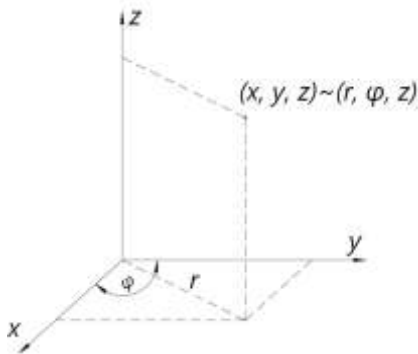


Рисунок 2.8 – Цилиндрическая система координат

В цилиндрических координатах оператор Лапласа Δ принимает вид:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

а уравнение теплопроводности переходит в следующий вид

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (2.11)$$

для неизвестной функции $u(r, \varphi, z, t)$ сохранено прежнее обозначение u .

При задачи осевой симметрией функции u , зависимость от φ отсутствует, поэтому уравнение примет вид

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (2.12)$$

где $u = u(r, z, t)$.

Постановка задачи

Цилиндры с конечными размерами $r_1 \leq r \leq r_3$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$ представляет собой два однородных цилиндра $r_1 \leq r \leq r_2$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$ и

$r_2 \leq r \leq r_3$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$. При этом материал цилиндров различный. Схема нейтрализатора представлена на рисунке 2.9.

Задачей является определение температуры составной трубы, при условии: теплообмен с окружающей средой с температурой u_1 осуществляется по закону Ньютона, начальная температура – $u_0(r, z, t)$ и торцевые поверхности трубы изолированы.

Таким образом, задача сводится к определению функции

$$u = u(r, z, t) = \begin{cases} u_1(r, z, t), r_1 \leq r \leq r_2, \\ u_2(r, z, t), r_2 \leq r \leq r_3, \end{cases} \quad (2.13)$$

При этом u_j ($j=1,2$) соответствует определенному уравнению теплопроводности:

при $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 < z < H$ и $0 < t < +\infty$

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} = k_1 \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} \right), \quad (r_1 < r < r_2) \quad (2.14)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial u_2}{\partial t} = k_2 \left(\frac{\partial^2 u_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2} \right), \quad (r_2 < r < r_3) \quad (2.15)$$

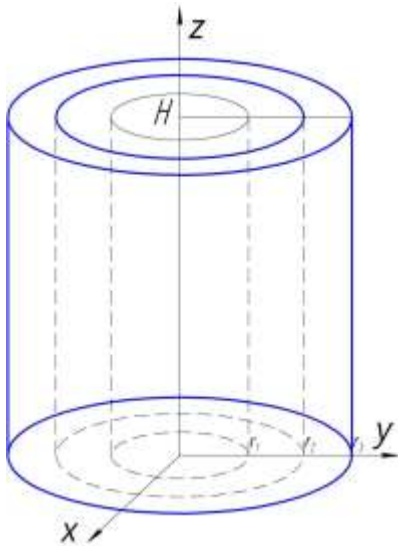


Рисунок 2.9 – Схема нейтрализатора

Принимаем для $j=1,2$, плотность (ρ_j), коэффициент внутренней теплопроводности (k_j) и удельная теплоемкость (c_j) как постоянные величины.

начальному условию

$$u|_{t=0} = u_0(r, z) \quad (2.16)$$

и граничным условиям

$$\left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=r_3} = 0 \Leftrightarrow \left. \frac{\partial u_2}{\partial r} \right|_{r=r_3} = 0 \quad (2.17)$$

При нулевом тепловом потоке тепла внешней стороне цилиндра $r = r_3$,

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \left. \frac{\partial u_1}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, & z_1 \leq z \leq z_2 \\ \left. \frac{\partial u_2}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, & z_2 \leq z \leq z_3 \end{cases} \quad (2.18)$$

При нулевом потоке тепла на нижней торцевой поверхности цилиндра,

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=H} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \left. \frac{\partial u_1}{\partial z} \right|_{z=H} = 0, & z_1 \leq z \leq z_2 \\ \left. \frac{\partial u_2}{\partial z} \right|_{z=H} = 0, & z_2 \leq z \leq z_3 \end{cases} \quad (2.19)$$

и

$$\left[k_1 \frac{\partial u}{\partial (-r)} + h_1 (u - u_1) \right]_{r=r_1} = 0 \quad (2.20)$$

где h_1 – коэффициент теплообмена на внутренней поверхности цилиндра, а u_1 – температура внутри цилиндра.

На внутренней стороне цилиндра $\bar{n} = -\bar{r}$; (рис. 2.10).

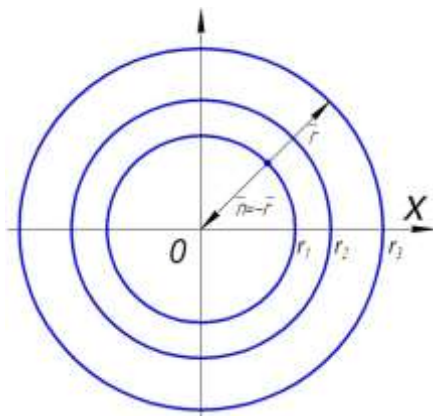


Рисунок 2.10 – Схема нейтрализатора (вид сверху).

Представим граничные условия в терминах функций u_j ,

$$\left[-k_1 \frac{\partial u_1}{\partial r} + h_1 (u_1 - u_1) \right]_{r=r_1} = 0 \Leftrightarrow \left(k_1 \frac{\partial u_1}{\partial r} - h_1 u_1 \right)_{r=r_1} = -h_1 u_1. \quad (2.21)$$

При выполнении условия на границе раздела сред $r = r_2$, $-\pi < \varphi \leq \pi$, $0 \leq z \leq H$:

$$u(r_2 - 0, z, t) = u(r_2 + 0, z, t) \Leftrightarrow u_1(r_2, z, t) = u_2(r_2, z, t) \quad (2.22)$$

При условиях:

равенства температур

$$k_1 \frac{\partial u}{\partial r}(r_2 - 0, z, t) = k_2 \frac{\partial u}{\partial r}(r_2 + 0, z, t) \Leftrightarrow k_1 \frac{\partial u_1}{\partial r}(r_2, z, t) = k_2 \frac{\partial u_2}{\partial r}(r_2, z, t) \quad (2.23)$$

равенства тепловых потоков

Преобразуем граничное условие (2.10) в однородное, и вводим неизвестную функцию $v(r, z, t)$, связанную с $u(r, z, t)$ как

$$u(r, z, t) = v(r, z, t) + u_1, \quad (2.24)$$

где

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

т.е.

$$u_1(r, z, t) = v_1(r, z, t) + u_1, \quad (2.25)$$

$$u_2(r, z, t) = v_2(r, z, t) + u_1, \quad (2.26)$$

Тогда $\forall j = 1, 2$

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} = \frac{\partial v_j}{\partial t}; \quad \frac{\partial u_j}{\partial r} = \frac{\partial v_j}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial^2 u_j}{\partial r^2} = \frac{\partial^2 v_j}{\partial r^2}; \quad \frac{\partial u_j}{\partial z} = \frac{\partial v_j}{\partial z} \Rightarrow \frac{\partial^2 u_j}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 v_j}{\partial z^2}, \quad (2.27)$$

и уравнения (2.14), (2.15) сохраняют свой вид:

$$c_j \rho_j \frac{\partial v_j}{\partial t} = k_j \left(\frac{\partial^2 v_j}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_j}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_j}{\partial z^2} \right). \quad (2.28)$$

Далее,

$$u|_{t=0} = v|_{t=0} + u_1 \quad (2.29)$$

и начальное условие (2.16) переходит в

$$v|_{t=0} = v_0(r, z), \quad (2.30)$$

где

$$v_0(r, z) = u_0(r, z) - u_1, \quad (2.31)$$

Граничные условия (2.17), (2.18) и (2.19) сохраняются:

$$\left. \frac{\partial u_2}{\partial r} \right|_{r=r_3} = 0 \Leftrightarrow \left. \frac{\partial v_2}{\partial r} \right|_{r=r_3} = 0; \quad (2.32)$$

$$\forall j=1, 2 \quad \left. \frac{\partial u_j}{\partial z} \right|_{z=0, H} = 0 \Leftrightarrow \left. \frac{\partial v_j}{\partial z} \right|_{z=0, H} = 0. \quad (2.33)$$

Условия сопряжения (2.22), (2.23) также остаются не измененными:

$$u_1(r_2, z, t) = u_2(r_2, z, t) \Leftrightarrow v_1(r_2, z, t) + u_1 = v_2(r_2, z, t) + u_1 \Leftrightarrow v_1(r_2, z, t) = v_2(r_2, z, t)$$

$$k_1 \frac{\partial u_1}{\partial r}(r_2, z, t) = k_2 \frac{\partial u_2}{\partial r}(r_2, z, t) \Leftrightarrow k_1 \frac{\partial v_1}{\partial r}(r_2, z, t) = k_2 \frac{\partial v_2}{\partial r}(r_2, z, t) \quad (2.34)$$

Наконец, граничное условие (2.21)

$$\left(k_1 \frac{\partial u_1}{\partial r} - h_1 u_1 \right) \Big|_{r=r_1} = -h_1 u_1$$

переходит в

$$\left[-k_1 \frac{\partial v_1}{\partial r} - h_1 (v_1 + u_1) \right] \Big|_{r=r_1} = -h_1 u_1 \Leftrightarrow \left(k_1 \frac{\partial v_1}{\partial r} - h_1 v_1 \right) \Big|_{r=r_1} = 0. \quad (2.35)$$

Новая неизвестная функция

$$v = v(r, z, t) = \begin{cases} v_1(r, z, t), & r_1 \leq r < r_2 \\ v_2(r, z, t), & r_2 \leq r \leq r_3 \end{cases} \quad (2.36)$$

$$(2.37)$$

связана, со старой функцией как

$$v(r, z, t) = u(r, z, t) + u_1,$$

и позволяет решить задачи:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial v_1}{\partial t} = k_1 \left(\frac{\partial^2 v_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial z^2} \right), \quad r_1 < r < r_2; \quad (2.38)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial v_2}{\partial t} = k_2 \left(\frac{\partial^2 v_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_2}{\partial z^2} \right), \quad r_2 < r < r_3; \quad (2.39)$$

$$v|_{t=0} = v_0(r, z), \quad (2.40)$$

где согласно (2.31) $v_0(r, z) = u_0(r, z) - u_1$,

$$\left(k_1 \frac{\partial v_1}{\partial r} - h_1 v_1 \right) \Big|_{r=r_1} = 0, \quad (2.41)$$

$$\left. \frac{\partial v_2}{\partial r} \right|_{r=r_3} = 0, \quad (2.42)$$

$$\left. \frac{\partial v_1}{\partial z} \right|_{z=0} = \left. \frac{\partial v_2}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad (2.43)$$

$$\left. \frac{\partial v_1}{\partial z} \right|_{z=H} = \left. \frac{\partial v_2}{\partial z} \right|_{z=H} = 0, \quad (2.44)$$

$$v_1(r_2, z, t) = v_2(r_2, z, t), \quad (2.45)$$

$$k_1 \frac{\partial v_1}{\partial r}(r_2, z, t) = k_2 \frac{\partial v_2}{\partial r}(r_2, z, t). \quad (2.46)$$

Как было сказано выше, дальнейшее решение задачи ведем методом разделения переменных [213].

Таким образом, имеем результат решения – уравнение позволяющее определить температуру требуемой точке в заданное время

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

где
$$\delta_{mn} = \frac{2}{H \|R_{mn}\|^2} \cdot \int_0^{r_3} \int_0^H r \mu(r) R_{mn}(r) u_0(r, z) \cos\left(\frac{\pi m z}{H}\right) dz dr \quad (2.48)$$

Для определения необходимых коэффициентов полученного выражения (2.48) выполнены исследования физико-механических и теплофизических свойств СКЭ. В результате исследования установлены числовые значения коэффициентов теплопроводности и теплоёмкости, а также плотности СКЭ. При этом в при расчете коэффициентов были учтены размеры изготовленного лабораторного макета нейтрализатора СКЭ: высота макета $H=0,4$ м, радиус внутреннего и внешнего цилиндров $r_1=0,04$ м и $r_2=0,105$ м, соответственно, при этом $r_2=r_1 + \delta$ [194].

При известных коэффициентах и сократив полученное выражение до трех слагаемых получили выражение для определения температуры в заданной точке (u) в зависимости от толщины стенки внутреннего цилиндра (δ) и времени нагревания (t).

$$u(\delta, t) = 70 + (18,2 + 0,3\delta) e^{-(0,0156 - 0,042\delta)t} - (64,4 + 7,1\delta) e^{-(0,0017 - 0,00016\delta)t}, \text{ час} \quad (2.49)$$

В лабораторном макете при исследовании процесса нагревания СКЭ были использованы сменные внутренние цилиндры с толщиной стенки (δ) равной 1,0; 1,5 и 2 мм.

Таким образом, в окончательном варианте получили искомое выражение для толщины стенки внутреннего цилиндра 1,0; 1,5 и 2мм

$$u(1,0;t) = 70 + 17,6e^{-0,334t} - 22,4e^{-0,00016t} \quad (2.50)$$

$$u(1,5;t) = 70 - 17,75e^{-0,093t} - 22,4e^{-0,0016t} \quad (2.51)$$

$$u(2,0;t) = 70 - 17,9e^{-0,072t} - 22,1e^{-0,015t} \quad (2.52)$$

По приведенным приближённым формулам можно рассчитывать температуры в нейтрализаторе в заданной точке в зависимости от толщины стенки внутреннего цилиндра и времени нагревания.

Полученные выражения (2.52) позволяют определять температуру СКЭ в нейтрализаторе при толщине внутреннего цилиндра 1,0; 1,5 и 2,0мм в зависимости от времени нагревания. Данные зависимости дают возможность для расчета конструктивно-технологических параметров нейтрализатора СКЭ [200].

2.3.2 Обоснование конструктивно-технологических параметров нейтрализатора СКЭ

Приготовление раствора реагентов заключается в смешивании оксида кальция и гидроксида натрия во внутренней емкости нейтрализатора (рис. 2.3) с последующим их взаимодействием. Для повышения эффективности их растворения необходимо осуществлять перемешивание. В противном случае при попадании оксида кальция в воду произойдет местный перегрев с образованием комков, что является не допустимым.

Процесс смешивания подобных химических соединений достаточно хорошо изучен, к тому же оксид кальция и гидроксид натрия растворимы в воде [218]. На основании этого рекомендуется остановить выбор на известном рабочем органе – лопастной мешалке с четырьмя лопатками равной длины.

Как указывалось выше конструкция нейтрализатора обеспечивает использование теплоты от химических реакций для нагрева СКЭ. Поэтому площадь поверхности внутреннего цилиндра должна быть максимальной. При

проектировании нейтрализатора СКЭ соотношение высоты внутреннего цилиндра к его диаметру ($\frac{H_0}{D}$) следует принимать максимально большое.

Расчетная высота заполнения составит

$$H = k \cdot H_0, \text{ м} \quad (2.53)$$

где k – коэффициент заполнения (который рекомендовано принимать равный 0,8).

Отношение диаметра внутреннего цилиндра (D) к внешнему диаметру установки лопастей мешалки (d) примем в соответствии [14].

$$\frac{D}{d} = 3 \quad (2.54)$$

Количество лопастей $n = 4$ при шаге их установке $s = d$, окружную скорость (g_m) следует выбирать в диапазоне от 1,7 до 5,0 м/с.

Частота вращения (n) лопастной мешалки

$$n = \frac{g_m}{\pi \cdot d}, \text{ с}^{-1} \quad (2.55)$$

Для перемешивания необходимо обеспечить турбулентный режим движения жидкости [139].

Мощность необходимая для создания турбулентного движения во внутреннем цилиндре нейтрализатора определится как [163].

$$N = \frac{K_n \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5}{\eta}, \text{ Вт} \quad (2.56)$$

где: ρ – плотность раствора реагентов, кг /м³;

K_n – коэффициент мощности.

Опытным путем установлено плотность раствора реагентов, в нашем случае, равна 1096 кг/м³.

В соответствии с разработанной технологией приготовления ВКК из ППКПП после нагревания СКЭ в нейтрализаторе его необходимо перемешать с раствором реагентов приготовленном во внутреннем цилиндре. Для исключения местного перегрева раствор реагентов необходимо равномерно распределить по всему объему

СКЭ. Для осуществления этого мы предлагаем использовать насос-смеситель (рис. 2.3). Подача раствора реагентов и СКЭ должна происходить равномерно и пропорционально их объемам, поэтому должно быть выполнено условие

$$t_1 = t_2, \text{ ч.} \quad (2.57)$$

где: t_1 – время подачи СКЭ, ч;

t_2 – время подачи раствора реагентов, ч.

При равном времени истечения соотношения расходов жидкостей можно представить как

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1 / t_1}{V_2 / t_2} = \frac{V_1}{V_2}, \quad (2.58)$$

где: V_1, V_2 – объёмы СКЭ и раствора реагентов при нейтрализации, м^3 .

Расход жидкости в нашем случае зависит от напора (H), площадь отверстия (ω), коэффициента истечения (μ), ускорения свободного падения (g) и определяется по выражению выражения [46, 98, 230]

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.59)$$

Таким образом, подставляя выражение (2.59) в (2.58) получим

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gH_1}}{\mu_2 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gH_2}} \quad (2.60)$$

Принимаем $H_1=H_2$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.61)$$

$$\text{При } \omega = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.62)$$

$$\text{Получим } \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \quad (2.63)$$

Таким образом, для осуществления равномерной подачи диаметры жиклеров установленных перед насосом смесителем должны, быть пропорциональны объемам СКЭ и раствора реагентов соответственно.

Параллельно процессу нагревания СКЭ в нейтрализаторе происходит его охлаждение, поэтому его смешивание с раствором реагентов необходимо выполнить за минимально возможный промежуток времени. На основании выполненных исследований следует что, при охлаждении СКЭ на 1°C его показатели липкости и вязкости изменяются не значительно. Поэтому принимаем допустимое время смешивания ($t_{см}$) равное времени охлаждения СКЭ на 1°C .

Для перекачивания раствора реагентов

$$Q_1 = \frac{V_1}{t_{см}}, \text{м}^3/\text{с} \quad (2.64)$$

Для перекачивания СКЭ

$$Q_2 = \frac{V_2}{t_{см}}, \text{м}^3/\text{с} \quad (2.65)$$

Таким образом, производительность насоса складывается из Q_1 и Q_2

$$Q_{нас} = Q_1 + Q_2, \text{м}^3/\text{с} \quad (2.66)$$

Полезную мощность насоса-смесителя можно определить по выражению [95].

$$N = \rho \cdot q \cdot Q_{нас} \cdot H_{нас}, \text{Вт} \quad (2.67)$$

где: ρ – плотность подаваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; q – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; $Q_{нас}$ – производительность насоса-смесителя, $\text{м}^3/\text{с}$; $H_{нас}$ – напор насоса-смесителя, м;

Мощность, затрачиваемая на привод насоса-смесителя:

$$N_{нас} = \frac{k_3 \cdot Q_{нас}}{\eta}, \text{Вт} \quad (2.68)$$

где: η – КПД привода насоса-смесителя; k_3 – коэффициент запаса.

Необходимый напор насоса-смесителя зависит от скорости движения жидкости в трубопроводе (v), длины и диаметра трубопровода (l, d), коэффициентов учитывающих гидравлическое трение (λ) и потери на заслонках ($k_{зас}$), входе ($k_{вх}$), выходе ($k_{вых}$), поворотах трубопровода ($k_{пов}$).

$$H_{нас} = k_{вх} \cdot \frac{\omega^2}{2g} + k_{зас} \cdot \frac{\omega^2}{2g} + 3k_{пов} \cdot \frac{\omega^2}{2g} + k_{вых} \cdot \frac{\omega^2}{2g} + \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \text{м} \quad (2.69)$$

Для определения скорость (v) известно выражение

$$v = \frac{4 \cdot Q_{нас}}{\pi \cdot d^2}, \text{ м/с} \quad (2.70)$$

Для определения численного значения коэффициента (ν) необходимо определить число Ренольдса [46]

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{g} \quad (2.71)$$

где: g – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

При $Re = 2300 \dots 5000$ коэффициент (ν) определяется по формуле Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.72)$$

При $Re = 5 \cdot 10^3 \dots 10^4$ коэффициент (ν) определяют по формуле Бладиуса

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.73)$$

При $Re \geq 10^4$ коэффициент (ν) определяют по формуле

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25} \quad (2.74)$$

где Δ – шероховатость соприкасающейся с жидкостью поверхности трубопровода, мм.

2.3.3 Теоретическое обоснование технологического процесса шнеко-лопастного смесителя

Конструктивная схема шнеко-лопастного смесителя представлена на рисунке 2.4. Как было описано выше (раздел 2.2.2) разработанный смеситель имеет комбинированный шнеко-лопастной рабочий орган. Во время работы он вращается и дополнительно совершает возвратно поступательные движения вдоль своей осевой линии, обеспечивая подачу СКЭ в зону смешивания.

Производительность разработанного шнеко-лопастного смесителя складывается непосредственно из подачи ОКМ (Q_1) и подачи СКЭ (Q_2)

$$Q = Q_1 + Q_2, \text{ кг/с} \quad (2.75)$$

Для определения производительности по ОКМ известно выражение для подобных машин [36]:

$$Q_1 = v_{cp} \psi \varphi (D_n^2 - d_g^2) \gamma_1, \text{ кг/с} \quad (2.76)$$

где v_{cp} – средняя осевая скорость частицы в смесителе, м/с; D_n – диаметр шнековой навивки рабочего органа, м; d_g – диаметр внутренней трубы рабочего органа, м; ψ, φ – коэффициенты поправочный и заполнения, соответственно; γ_1 – объемная масса ОКМ, кг/м³.

Для определения производительности смесителя по СКЭ известно выражение [46]:

$$Q_2 = V n \gamma_2, \text{ кг/с} \quad (2.77)$$

где V – объем СКЭ подаваемого за один оборот рабочего органа, м³; n – частота вращения рабочего органа, с⁻¹; γ_2 – плотность СКЭ, кг/м³.

В результате выражение (2.74) можно записать

$$Q = v_{cp} \psi \varphi (D_n^2 - d_g^2) \gamma_1 + V n \gamma_2, \text{ кг/с} \quad (2.78)$$

В данном выражении имеется неизвестная, это осевая скорость перемещения ОКМ (v_{cp}). Определения осевой скорости по известным выражением не представляется возможным, это связано со сложным движением рабочего органа. Поэтому для определения (v_{cp}) будет рассмотрено движение материальной точки в разработанном смесителе.

На основании разработанной конструкции смесителя примем математическую модель рабочего органа в виде прямого геликоида, при $\alpha = \frac{\pi}{2}$, образованную лучом (L) (рис 2.11). Вращение луча происходит с постоянной скоростью относительно не подвижной оси (OO'). При этом происходит пересечение оси под углом α . Дополнительно к этому происходит поступательное движение по оси с постоянной скоростью.

Уравнение геликоида при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ в параметрической форме будет выглядеть как

[85]

$$\left. \begin{aligned} x &= \rho \cos \varphi \\ y &= \rho \sin \varphi \\ z &= b \cdot \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.79)$$

или

$$\left. \begin{aligned} x &= x(u_1 \nu) = u \cdot \cos \nu \\ y &= y(u_1 \nu) = u \cdot \sin \nu \\ z &= (u_1 \nu) = b \cdot \nu \end{aligned} \right\} \quad (2.80)$$

Для шнека

$$R_1 \leq U \leq R_2 \quad (2.81)$$

$$0 \leq \nu \leq \nu_0$$

где: R_1 – радиус центральной трубы рабочего органа; R_2 – радиус кожуха шнека; ν_0 – величина, определяющая число винтов шнековой навивки.

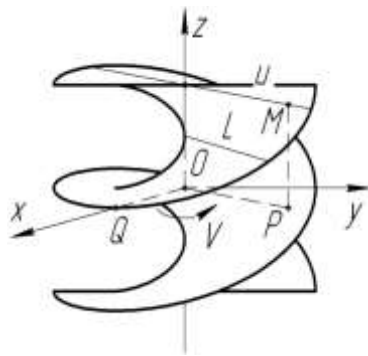


Рисунок 2.11 – Шнековая навивка.

Часть рабочего органа со шнековой навивкой представлена на рисунке 2.12.

$$\nu_0 = 2\pi \cdot n.$$

где n – количество витков шнековой навивки.

b – шаг шнека.

$$\nu = 0 \Rightarrow z = 0;$$

$$\nu = 2\pi \Rightarrow z = b \cdot 2\pi = h \Rightarrow b = \frac{h}{2\pi}$$

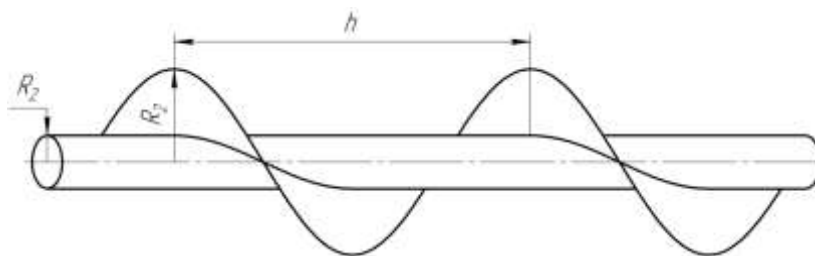


Рисунок 2.12 – Схема рабочего органа смесителя (часть со шнековой навивкой)

Представим уравнение прямого геликоида в векторной форме

$$\vec{z} = \vec{z}(u_1\nu) = (x(u_1\nu); y(u_1\nu); z(u_1\nu)),$$

или, $\vec{z}(u_1\nu) = (u \cdot \cos\nu; u \cdot \sin\nu; b \cdot \nu),$ (2.82)

Векторные уравнения поверхности позволят вычислить нормаль к этой поверхности (рис. 2.13).

Вектор $\vec{z}_u(u_0\nu_0)$ в точке $M_0(x(u_0\nu_0), y(u_0\nu_0), z(u_0\nu_0))$, является касательным к координатной линии, заданной уравнением $\vec{z} = z(u\nu_0)$, а вектор $\vec{z}_\nu(u_0\nu_0)$ в той же точке касательным к координатной линии, заданной уравнением $\vec{z} = \vec{z}(u_0\nu)$. По известному свойству векторного произведения $\vec{z}_u \cdot \vec{z}_\nu$ ортогонален \vec{z}_u и \vec{z}_ν , поэтому нормаль в точке M_0 .

$$\vec{n}(u_0\nu_0) \parallel \vec{z}_u(u_0\nu_0) \cdot \vec{z}_\nu(u_0\nu_0).$$

В нашем случае, $\vec{z}(u_1\nu) = (u \cos\nu, u \sin\nu, b \cdot \nu)$, поэтому,

$$\vec{z}_u = (\cos\nu; \sin\nu; 0),$$
 (2.83)

$$\Rightarrow \vec{z}_u \cdot \vec{z}_\nu = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos\nu & \sin\nu & 0 \\ -u \sin\nu & u \cos\nu & b \end{vmatrix} = \vec{i} \cdot b \sin\nu - \vec{j} \cdot b \cos\nu +$$

$$+\vec{k} (u \cos^2\nu + u \sin^2\nu) = (b \sin\nu; -b \cos\nu; u)$$
 (2.84)

Для данного вектора

$$\|\vec{z}_u \cdot \vec{z}_\nu\| = \sqrt{b^2 \sin^2\nu + b^2 \cos^2\nu + u^2} = \sqrt{u^2 + b^2},$$
 (2.85)

Отсюда единичная нормаль:

$$\vec{v} = \pm \frac{\vec{n}}{\|\vec{n}\|} = \pm \frac{1}{\sqrt{u^2 + b^2}} (b \sin\nu; -b \cos\nu; u),$$
 (2.86)

Выбираем направление в сторону оси OZ, в соответствии со знаком «плюс» выражения (2.85).

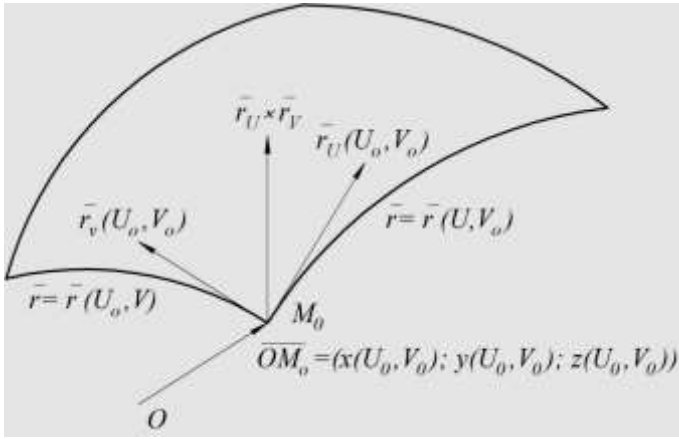


Рисунок 2.13 – Схема к определению векторных уравнений

В результате получаем, единичную нормаль:

$$\bar{v} = \left(\frac{b \sin \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}; \frac{-b \cos \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}; \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) = (v_x; v_y; v_z), \quad (2.87)$$

при этом

$$v_x = \frac{b \sin \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad v_y = \frac{-b \cos \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad v_z = \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}. \quad (2.88)$$

Определим коэффициенты для первой квадратичной формы данной поверхности прямого геликоида:

$$ds^2 = \|d\bar{2}\|^2 = \|\bar{2}u du + \bar{2}v dv\|^2 = (\bar{2}u du + \bar{2}v dv, \bar{2}n dn + \bar{2}v dv) = E dn^2 + 2F dn dv + G dv^2, \quad (2.89)$$

введем обозначения:

$$E = \|\bar{2}u\|^2; G = \|\bar{2}v\|^2; F = (\bar{2}u \bar{2}v) \quad (2.90)$$

при:

$$\bar{2}u = (\cos \nu; \sin \nu; 0) \text{ и } \bar{2}v = (-u \sin \nu; u \cos \nu; 0).$$

Из этого получим:

$$E = \|\bar{2}u\|^2 = \cos^2 \nu + \sin^2 \nu = 1;$$

$$G = \|\bar{2}v\|^2 = u^2 \sin^2 \nu + u^2 \cos^2 \nu + b = u^2 + b^2;$$

$$F = (\bar{2}u \bar{2}v) = \cos \nu \cdot (-u \sin \nu) + \sin \nu \cdot u \cos \nu + 0 \cdot b = 0.$$

Матрица квадратичной формы имеет вид

$$\begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & u^2 + b^2 \end{pmatrix},$$

ее определитель имеет вид

$$g = EG - F^2 = u^2 + b^2.$$

Площадь поверхности (S), заданная как:

$$\bar{2} = \bar{2}(u, v) \left[(u, v) \in Du, v \subset R^2 \right]$$

Определим как поверхностный интеграл:

$$\mu_2(S) = \iint_{Du, v} \sqrt{g} du dv.$$

В данном случае площадь поверхности единичного витка прямого геликоида.

$$\mu_2(S) = \iint_{\substack{R_1 \leq u \leq R_2 \\ 0 \leq v \leq 2\pi}} \sqrt{u^2 + b^2} du dv = 2\pi \cdot \int_{R_1}^{R_2} \sqrt{u^2 + b^2} dn.$$

Вычисление неопределенного интеграла

$$I = \int \sqrt{u^2 + b^2} dn \tag{2.91}$$

$$\int V \cdot dU = U \cdot V - \int U \cdot dV$$

У нас $V = \sqrt{u^2 + b^2}$ и $dn = dU$.

$$\text{Тогда } dV = \frac{2udu}{2\sqrt{u^2 + b^2}}; \quad u = U$$

и

$$\begin{aligned} I &= \int \sqrt{u^2 + b^2} dn = u \cdot \sqrt{u^2 + b^2} - \int \frac{u^2 dn}{\sqrt{u^2 + b^2}} = u \cdot \sqrt{u^2 + b^2} - \int \frac{u^2 + b^2 - b^2}{\sqrt{u^2 + b^2}} dn = \\ &= u\sqrt{u^2 + b^2} - \int \sqrt{u^2 + b^2} dn + b^2 \int \frac{dn}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \end{aligned}$$

следует отметить причем последний интеграл является табличным:

$$\int \frac{dn}{\sqrt{u^2 + b^2}} = \ln \left(u + \sqrt{u^2 + b^2} \right) + C_1.$$

В результате для определения интеграла $I = \int \sqrt{u^2 + b^2} dn$ получили уравнение:

$$I = u\sqrt{u^2 + b^2} - I + b^2 \left[\ln(u + \sqrt{u^2 + b^2}) + C_1 \right],$$

из этого следует

$$2I = u\sqrt{u^2 + b^2} + b^2 \cdot \ln(u + \sqrt{u^2 + b^2}) + C_1,$$

в результате получили

$$I = \frac{u}{2}\sqrt{u^2 + b^2} + \frac{b^2}{2} \cdot \ln(u + \sqrt{u^2 + b^2}) + C. \quad (2.92)$$

Таким образом, площадь поверхности витка рассматриваемого геликоида определится как

$$\begin{aligned} \mu_2(S) &= 2\pi \cdot \int_{R_1}^{R_2} \sqrt{u^2 + b^2} \, dn = 2\pi \left[\frac{u}{2}\sqrt{u^2 + b^2} + \frac{b^2}{2} \cdot \ln(u + \sqrt{u^2 + b^2}) \right] \Bigg|_{R_1}^{R_2} = \\ &= \pi \left[R_2 \sqrt{R_2^2 + b^2} - R_1 \sqrt{R_1^2 + b^2} + b^2 \cdot \ln \frac{R_2 + \sqrt{R_2^2 + b^2}}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + b^2}} \right]. \end{aligned} \quad (2.93)$$

При поверхностной плотности прямого геликоида равной $\rho_2(u, \nu)$ масса витка шнековой навивки составит

$$m_{1uu} = \iint_{Du, \nu} \rho_2 \sqrt{g} \cdot dud\nu = \iint_{\substack{R_1 \leq u \leq R_2 \\ 0 \leq \nu \leq 2\pi}} \rho_2(u, \nu) \sqrt{u^2 + b^2} \, dud\nu$$

при $\rho_2 = \rho_2(u)$

$$m_{1uu} = 2\pi \cdot \int_{R_1}^{R_2} \rho_2(u) \sqrt{u^2 + b^2} \, dn.$$

При $\rho_2(u, \nu) = \rho_2 = const$, то:

$$m_{1uu} = \rho_2 \iint_{\substack{R_1 \leq u \leq R_2 \\ 0 \leq \nu \leq 2\pi}} \sqrt{g} \, dud\nu = \rho_2 \cdot \mu_2(S),$$

где $\mu_2(S)$ – площадь одного витка данного геликоида.

Вывод уравнений относительного движения частицы корма по шнековой навивки.

Принимаем систему координат, OX_1, Y_1, Z_1 представленную на рисунке 2.14 не подвижной. При этом направление OZ_1 совпадает с центральной осью рабочего органа и направлена от загрузочного окна к выгрузному, OX_1 имеет вертикальное направление с низу вверх, OY_1 располагается перпендикулярно OX_1 и OZ_1 и ориентирована положительно (рис.2.10).

Принимаем время $t > 0$, от начала движения частицы ($t = 0$).

Рабочий орган шнеко-лопастного смесителя осуществляет дополнительные возвратно-поступательные движения по оси OZ_1 . Принимаем смещение шнека в процессе движения $\omega = \omega(t)$ Тогда $\omega > 0$, если смещение по оси OZ_1 .

Из выше сказанного, скорость перемещения шнека

$$\dot{\omega} = \dot{\omega}(t) = \frac{d\omega}{dt},$$

ускорение:

$$\ddot{\omega} = \ddot{\omega}(t) = \frac{d^2\omega}{dt^2},$$

При вращении рабочего органа по часовой стрелке с угловой скоростью (φ) по часовой стрелке за время (t) произойдет его поворот на угол $\varphi = \varphi(t) = \omega t$.

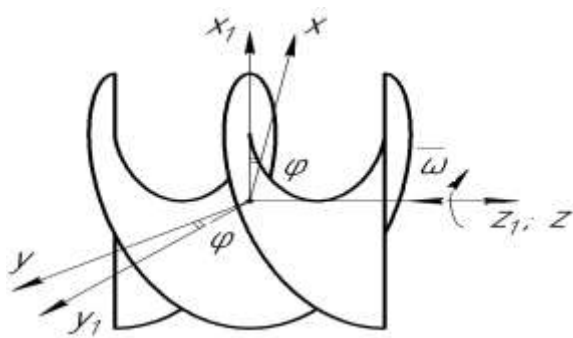


Рисунок 2.14 – Схема относительного движения частицы по шнеку

Таким образом, на основании закона Ньютона уравнение относительного движения частицы массы (m) по шнековой наливки примет вид

$$F = ma \tag{2.94}$$

При этом ускорение частицы корма

$$\bar{a} = \bar{a}_2 + \bar{a}_c + \bar{a}_e,$$

где \bar{a}_2 , \bar{a}_c , \bar{a}_e – ускорения относительного движения, Кориолиса и переносного движения, соответственно.

$$\text{Сила } \bar{F} = \bar{F}_{mp} + \bar{N} + \bar{G},$$

где \bar{F}_{mp} , \bar{N} , \bar{G} – силы трения, нормального давления, тяжести, соответственно.

Таким образом полученное уравнения относительного движения по шнековой навивки преобразуется в

$$m \cdot \bar{a}_2 = \bar{F}_{mp} + \bar{N} + \bar{G} - m \cdot a_c - m \cdot a_e \quad (2.95)$$

Свяжем со шнековой навивкой рабочего органа подвижную систему координат $OXYZ$ с ортами $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$.

В момент времени t , радиус – вектор частицы примет вид

$$\bar{2} = \bar{2}(t) = (x, y, z),$$

при этом $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$,

Исходя из этого относительная скорость примет вид

$$v = v(t) = \frac{d\bar{r}}{dt} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix},$$

и ускорение

$$\bar{a}_2 = \bar{a}_2(t) = \frac{dv_2}{dt} = \left(\frac{d^2x}{dt^2}, \frac{d^2y}{dt^2}, \frac{d^2z}{dt^2} \right) = \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix}.$$

Радиус-вектор угловой скорости при $\bar{\omega} = (0; 0; -\omega)$ – ускорение Кориолиса примет вид

$$\bar{a}_c = 2\bar{\omega} \cdot \dot{\bar{2}} = 2 \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & 0 & -\omega \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = 2\omega \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} \\ x & y \end{vmatrix} = 2\omega \begin{pmatrix} \dot{y} - \dot{x} \\ -\dot{x} \\ 0 \end{pmatrix} = 2\omega \begin{pmatrix} \dot{y} - \dot{x} \\ -\dot{x} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Ускорение переносного движения частицы

$$\bar{a}_e = \bar{\omega}(\bar{\omega} \cdot \bar{2}) \cdot \ddot{\bar{k}}.$$

Определим первое слагаемое правой части.

$$\bar{\omega} \cdot \bar{2} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & 0 & -\omega \\ x & y & z \end{vmatrix} = \omega \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} \\ x & y \end{vmatrix} = \omega(\bar{i}y - \bar{j}x) = (\omega y; -\omega x; 0),$$

$$\bar{\omega}(\bar{\omega} \cdot \bar{2}) = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & 0 & -\omega \\ \omega y & -\omega x & 0 \end{vmatrix} = \omega^2 \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} \\ y & -x \end{vmatrix} = \omega^2(-\bar{i}x - \bar{j}y) = -\omega^2(x; y; 0).$$

Вычислим произведение $\bar{\omega}(\bar{\omega} \cdot \bar{2})$ с помощью формулы

$$\bar{a}(\bar{b} \cdot \bar{c}) = \bar{b}(\bar{a}, \bar{c}) - \bar{c}(\bar{a}, \bar{b}).$$

В данном случае $\bar{a} = \bar{\omega}, \bar{b} = \bar{\omega}, \bar{c} = \bar{2}$, откуда:

$$\begin{aligned} \bar{\omega}(\bar{\omega} \cdot \bar{2}) &= \bar{\omega}(\bar{\omega}, \bar{2}) - \bar{2}(\bar{\omega}, \bar{\omega}) = \bar{\omega}(-\omega z) - \bar{2}\omega^2 = -\omega z(0; 0; \omega) - \omega^2(x, y, z) = \\ &= \omega^2(0; 0; z) - \omega^2(x, y, z) = -\omega^2(x, y, 0) \end{aligned}$$

Получили аналогичный результат, поэтому

$$\bar{a}_e = \bar{\omega}(\bar{\omega} \cdot \bar{2}) \cdot \overset{\bullet\bullet}{\omega} \bar{k} = -\omega^2(x; y; 0) + \overset{\bullet\bullet}{\omega}(0; 0; 1) = \left(-\omega^2 x; -\omega^2 y; \overset{\bullet\bullet}{\omega} \right).$$

Сила тяжести (рис. 2.15) :

$$\bar{G} = (-G \cos \varphi; -G \sin \varphi; 0).$$

С учетом $G = mg$.

Примет вид

$$\bar{G} = (-mg \cos \varphi; -mg \sin \varphi; 0).$$

Сила нормального давления определяется как:

$$\bar{N} = N \cdot \bar{\nu},$$

где: N – длина вектора, $\bar{\nu}$ – единичная нормаль поверхности шнековой навивки,

При этом $N = \|\bar{N}\|$, $\bar{\nu} = (\nu_x; \nu_y; \nu_z)$ направлена в сторону возрастания Z ,

поэтому $\nu_z > 0$. Сила трения:

$$\bar{F}_{тр} = -\mu \cdot N \cdot \frac{\bar{\nu}_2}{\nu_2},$$

де: $\bar{\nu}_2$ – скорость частицы по шнековой навивки, ν_2 – длина вектора скорости, μ – коэффициент трения.

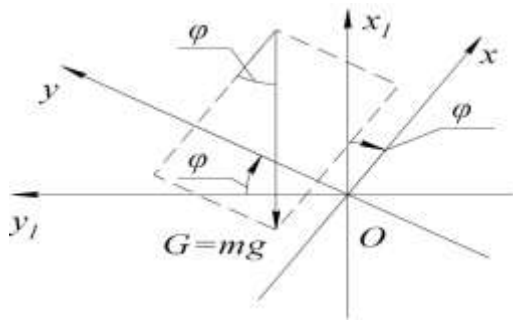


Рисунок 2.15 – Действующие на частицу силы.

При этом $\bar{v}_2 = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}$ а $v_2 = \|\bar{v}_2\| = \sqrt{\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}^2 + \begin{pmatrix} \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}^2 + \begin{pmatrix} \dot{z} \end{pmatrix}^2}$.

Векторные уравнения в развернутом виде:

$$m \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = -\frac{\mu \cdot N}{v_2} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} + N \begin{pmatrix} vx \\ vy \\ vz \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} mg \cos \varphi \\ mg \sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix} - m \cdot 2\omega \begin{pmatrix} \dot{y} \\ -x \\ 0 \end{pmatrix} - m \begin{pmatrix} -\omega^2 x \\ -\omega^2 y \\ \omega \end{pmatrix}, \quad (2.96)$$

в координатной форме:

$$m \ddot{x} = -\mu \cdot N \frac{\dot{x}}{v_2} + N \cdot vx - mg \cos \varphi - 2m\omega \dot{y} + m\omega^2 x, \quad (2.97)$$

$$m \ddot{y} = -\mu \cdot N \frac{\dot{y}}{v_2} + N \cdot vy - mg \sin \varphi - 2m\omega \dot{x} + m\omega^2 y, \quad (2.98)$$

$$m \ddot{z} = -\mu \cdot N \frac{\dot{z}}{v_2} + N \cdot vz - m\omega. \quad (2.99)$$

Тем самым мы получили уравнения относительного движения частицы корма по шнековой навивке рабочего органа.

Вывод уравнений движений рабочего органа шнеко-лопастного смесителя.

Для объективного представления движения частиц корма в шнеко-лопастном смесителе к полученным выражениям следует добавить уравнения движения самого рабочего органа.

По принципу Даламбера, рассматривая перемещение рабочего органа вдоль вдоль оси Z

$$P - F_{yn} - F_{mp.z} - F_{ин.z} = 0 \quad (2.100)$$

где: P , F_{yn} , $F_{mp.z}$, $F_{ин.z}$ – силы тяжести шнека и ОКМ, упругости мембраны, сила трения рабочего органа в опорах, инерции системы соответственно.

$$P = mg \quad (2.101)$$

Первоначально $F_{mp.z} = 0$ и $F_{ин.z} = 0$, за счет сопротивления ОКМ рабочий орган смесителя перемещает мембрану вдоль осевой линии по направлению от выгрузного окна (рис 2.3) на расстояние ω_0 (рис. 2.16).

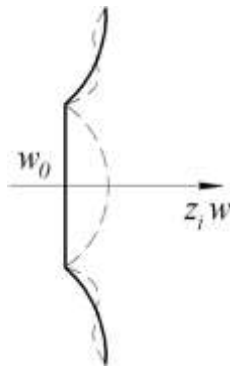


Рисунок 2.16 – Мембран смесителя

По закону Гука сила упругости

$$F_{yn} = c \cdot \omega_0$$

где c – коэффициент упругости.

Из выражения (2.99) следует

$$P - c\omega_0 = 0 \Rightarrow P = c\omega_0 \quad (2.102)$$

При движении

$$F_{yn} = c(\omega_0 + \omega) \quad (2.103)$$

$$F_{mp.z} = \mu_{ин} \cdot m_{ин} \cdot g \quad (2.104)$$

где $\mu_{ин}$ – коэффициент трения в опорах рабочего органа, $m_{ин}$ – масса рабочего органа;

$$F_{ин.z} = m\dot{Z} + (m + m_{ин})\dot{\omega} \quad (2.105)$$

Из этого выражение (2.99) можно представить как

$$c \cdot \omega_0 - c(\omega_0 + \omega) - \mu_{ин} \cdot m_{ин} \cdot g - \left[m\dot{Z} + (m + m_{ин})\dot{\omega} \right] = 0,$$

В результате получили уравнение движения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя, которое требовалось к системе (2.97– 2.99).

$$m\ddot{z} + (m + m_{ш})\ddot{\omega} + c\omega = -\mu_{ш} \cdot m_{ш} \cdot g \quad (2.106)$$

Если в уравнении (2.106) пренебречь первым слагаемым по сравнению с остальными. Для этого есть основания, так как масса частицы поля по сравнению с массой шнека, то оставшаяся часть будет

$$(m + m_{ш})\ddot{\omega} + c\omega = -\mu_{ш} \cdot m_{ш} \cdot g \quad (2.107)$$

Допускает явное решение.

Действительно, поделим на $m + m_{ш}$:

$$\ddot{\omega} + \frac{c}{m + m_{ш}}\omega = -\frac{\mu_{ш} \cdot m_{ш} \cdot g}{m + m_{ш}},$$

Обозначим:

$$\frac{c}{m + m_{ш}} = \Omega^2 \quad \text{и} \quad -\frac{\mu_{ш} \cdot m_{ш} \cdot g}{m + m_{ш}} = f.$$

Получившееся уравнение: $\ddot{\omega} + \Omega^2\omega = f$ представляет собой уравнение гармонических колебаний с частотой Ω и постоянной вынуждающей силой f , его общее решение имеет вид:

$$\omega(t) = C_1 \cos \Omega t + C_2 \sin \Omega t + \frac{f}{\Omega^2},$$

или

$$\omega(t) = A \cos(\Omega t + \alpha) + \frac{f}{\Omega^2}.$$

Преобразование уравнений движения с использованием уравнений шнека.

В результате получили уравнения движения рабочего органа и относительного перемещения частицы ОКМ по его шнековой поверхности. Таким образом, имеем систему, в которой присутствуют четыре уравнения с пятью неизвестными: координаты частицы ОКМ (X, Y, Z), величина силы нормального давления N и смещение шнека (ω).

Добавим к имеющейся системе уравнение поверхности шнековой навивки

$$x = u \cos \nu, y = u \sin \nu, z = b\nu \quad (2.108)$$

Это дает возможность использовать зависимые величины u и v заменив ими зависимые X, Y, Z .

Таким образом, это позволяет нам сократить количество неизвестных до четырех.

На основании выше сказанного имеем

$$u = u(t) \text{ и } v = v(t),$$

Учитывая выражение (2.108) получи производные от X, Y, Z .

$$1) \quad x(t) = u(t) \cdot \cos v(t) \Rightarrow \dot{x} = \dot{u} \cos v - u \sin v \cdot \dot{v}$$

или

$$\dot{x} = \dot{u} \cos v - u \cdot \dot{v} \sin v \quad (2.109)$$

Далее:

$$\ddot{x} = \ddot{u} \cos v + \dot{u}(-\sin v) \cdot \dot{v} - \left[\ddot{u} v \sin v + \dot{u} \ddot{v} \sin v + \dot{u} \dot{v} \cos v \dot{v} \right],$$

Из этого

$$\ddot{x} = \ddot{u} \cos v - 2\dot{u} \dot{v} \sin v - \dot{u} \ddot{v} \sin v - u \left(\dot{v} \right)^2 \cos v, \quad (2.110)$$

$$2) \quad y(t) = u(t) \sin v(t) \Rightarrow \dot{y} = \dot{u} \sin v + u \cos v \dot{v}$$

или

$$\dot{y} = \dot{u} \sin v + u \dot{v} \cos v \quad (2.111)$$

Далее

$$\ddot{y} = \ddot{u} \sin v + \dot{u} \cos v \dot{v} + \dot{u} \dot{v} \cos v + \dot{u} \dot{v} \cos v + u \dot{v}(-\sin v) \dot{v}$$

Из этого

$$\ddot{y} = \ddot{u} \sin v + 2\dot{u} \dot{v} \cos v + \dot{u} \ddot{v} \cos v - u \left(\dot{v} \right)^2 \sin v \quad (2.112)$$

$$3) \quad Z(t) = b \cdot v(t) \Rightarrow \dot{Z} = b \cdot \dot{v} \quad (2.113)$$

$$\ddot{Z} = b \cdot \ddot{v} \quad (2.114)$$

Получаем

$$\begin{aligned}
v_2^2 &= \left(\dot{x}\right)^2 + \left(\dot{y}\right)^2 + \left(\dot{z}\right)^2 = \left(u \cos \nu - 2u\dot{\nu} \sin \nu\right)^2 + \left(u \sin \nu + u\dot{\nu} \cos \nu\right)^2 + \left(b\dot{\nu}\right)^2 = \\
&= \left(\dot{u}\right)^2 \cos^2 \nu - 2\dot{u} \cos \nu \cdot u\dot{\nu} \sin \nu + u^2 \left(\dot{\nu}\right)^2 \sin^2 \nu + \left(\dot{u}\right)^2 \sin^2 \nu + 2\dot{u} \sin \nu \cdot u\dot{\nu} \cos \nu + \\
&+ u^2 \left(\dot{\nu}\right)^2 \cos^2 \nu + b^2 \left(\dot{\nu}\right)^2 = \left(\dot{u}\right)^2 + u^2 \left(\dot{\nu}\right)^2 + b^2 \left(\dot{\nu}\right)^2 = \left(\dot{u}\right)^2 + (u^2 + b^2) \left(\dot{\nu}\right)^2.
\end{aligned}$$

Таким образом, получаем длину вектора относительной скорости

$$v^2 = \sqrt{\left(\dot{u}\right)^2 + (u^2 + b^2) \left(\dot{\nu}\right)^2}$$

Составляющие вектора единичной нормой.

$$v_x = \frac{b \sin \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}, v_y = \frac{-b \cos \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}}, v_z = \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}.$$

Учитывая полученные выражения, преобразуем (2.97), (2.98), (2.99) и уравнение Гаука

Выражение (2.97) преобразуется в

$$\begin{aligned}
m \left[\ddot{u} \cos \nu - 2\dot{u}\dot{\nu} \sin \nu - u \ddot{\nu} \sin \nu - u \left(\dot{\nu}\right)^2 \cos \nu \right] &= -\frac{\mu \cdot N}{v_2} \left(\dot{u} \cos \nu - u\dot{\nu} \sin \nu \right) + \\
+ N \cdot \frac{b \sin \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} - mg \cos \varphi - 2m\omega \left(\dot{u} \sin \nu + u\dot{\nu} \cos \nu \right) + m\omega^2 u \cos \nu
\end{aligned} \quad (2.115)$$

Выражение (2.98) преобразуется в:

$$\begin{aligned}
m \left[\ddot{u} \sin \nu - 2\dot{u}\dot{\nu} \cos \nu - u \ddot{\nu} \cos \nu - u \left(\dot{\nu}\right)^2 \sin \nu \right] &= -\frac{\mu \cdot N}{v_2} \left(\dot{u} \sin \nu - u\dot{\nu} \cos \nu \right) + \\
+ N \cdot \frac{-b \cos \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} - mg \sin \varphi - 2m\omega \left(\dot{u} \cos \nu + u\dot{\nu} \sin \nu \right) + m\omega^2 u \sin \nu.
\end{aligned} \quad (2.116)$$

Выражение (2.99) преобразуется в

$$m \left(b \ddot{\nu} + \ddot{\omega} \right) = -\frac{\mu \cdot N}{v_2} b \dot{\nu} + N \cdot \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}. \quad (2.117)$$

Выражение (2.102) преобразуется в

$$m\ddot{b}\nu + (m + m_{uu})\ddot{\omega} + c\dot{\omega} = -\mu_{uu} \cdot m_{uu} \cdot g. \quad (2.118)$$

Упростим выражения (2.116) и (2.117).

Умножим на $\frac{1}{m}\cos\nu$ уравнение (2.118)

$$\begin{aligned} \ddot{u}\cos^2\nu + 2\dot{u}\dot{\nu}\sin\nu\cos\nu + u\ddot{\nu}\sin\nu\cos\nu - u\left(\dot{\nu}\right)^2\cos^2\nu &= -\frac{\mu \cdot N}{m\nu^2} \cdot \\ \cdot \left(\dot{u}\cos^2\nu - u\dot{\nu}\sin\nu\cos\nu \right) + \frac{N}{m} \cdot \frac{b\sin\nu\cos\nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} - g\cos\varphi\cos\nu - 2\dot{\omega} \cdot \\ \cdot \left(\dot{\nu}\sin\nu\cos\nu + u\ddot{\nu}\cos^2\nu \right) + \omega^2 u\cos^2\nu; \end{aligned}$$

далее уравнение (2.117) на $\frac{1}{m}\sin\nu$:

$$\begin{aligned} \ddot{u}\sin^2\nu + 2\dot{u}\dot{\nu}\sin\nu\cos\nu + u\ddot{\nu}\sin\nu\cos\nu - u\left(\dot{\nu}\right)^2\sin^2\nu &= -\frac{\mu \cdot N}{m\nu^2} \cdot \\ \cdot \left(\dot{u}\sin^2\nu + u\dot{\nu}\sin\nu\cos\nu \right) - \frac{N}{m} \cdot \frac{b\sin\nu\cos\nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} - g\sin\varphi\sin\nu + 2\dot{\omega} \cdot \\ \cdot \left(u\sin\nu\cos\nu + u\ddot{\nu}\sin^2\nu \right) + \omega^2 u\sin^2\nu, \end{aligned}$$

Суммируем полученные результаты

$$\ddot{u} - u\left(\dot{\nu}\right)^2 = -\frac{\mu}{\nu^2} \cdot \frac{N}{m} \cdot \dot{u} - g(\cos\varphi\cos\nu + \sin\varphi\sin\nu) + 2\omega u\dot{\nu} + \omega^2 u,$$

Упростив данное выражение получим,

$$\ddot{u} + \frac{\mu}{\nu^2} \cdot \frac{N}{m} \cdot \dot{u} = u\left(\dot{\nu}\right)^2 - g\cos(\nu - \varphi) - 2\omega u\dot{\nu} + \omega^2 u. \quad (2.119)$$

Аналогично выражение (2.116) умножим на $\left(-\frac{1}{m}\sin\nu\right)$.

$$\begin{aligned}
& -\ddot{u} \sin \nu \cos \nu + 2\dot{u}\dot{\nu} \sin^2 \nu + u\ddot{\nu} \sin^2 \nu + u\left(\dot{\nu}\right)^2 \sin \nu \cos \nu = -\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \frac{N}{m} \cdot \\
& \cdot \left(-\dot{u} \sin \nu \cos \nu + u\dot{\nu} \sin^2 \nu \right) - \frac{N}{m} \cdot \frac{b \sin^2 \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} + g \cos \varphi \sin \nu + 2\omega \cdot \\
& \cdot \left(u \sin^2 \nu + u\dot{\nu} \cos \nu \sin \nu \right) + \omega^2 u \sin \nu \cos \nu,
\end{aligned}$$

выражение (2.118) умножаем на $\frac{1}{m} \cos \nu$:

$$\begin{aligned}
& \ddot{u} \sin \nu \cos \nu + 2\dot{u}\dot{\nu} \cos^2 \nu + u\ddot{\nu} \cos^2 \nu - u\left(\dot{\nu}\right)^2 \sin \nu \cos \nu = -\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \frac{N}{m} \cdot \\
& \cdot \left(\dot{u} \sin \nu \cos \nu + u\dot{\nu} \cos^2 \nu \right) - \frac{N}{m} \cdot \frac{b \cos^2 \nu}{\sqrt{u^2 + b^2}} - g \sin \varphi \cos \nu + 2\omega \cdot \\
& \cdot \left(u \cos^2 \nu + u\dot{\nu} \sin \nu \cos \nu \right) + \omega^2 u \sin \nu \cos \nu,
\end{aligned}$$

суммируем

$$\ddot{u}\dot{\nu} + 2\dot{u}\ddot{\nu} = -\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \frac{N}{m} \cdot u\dot{\nu} - \frac{N}{m} \cdot \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} + g(\sin \nu \cos \varphi - \sin \varphi \cos \nu) + 2\omega \dot{u},$$

В результате после упрощения

$$\ddot{u}\dot{\nu} + \frac{N}{m} \left(\frac{\mu}{\nu_2} \cdot u\dot{\nu} - \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) = g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega \dot{u} - 2\dot{u}\dot{\nu}, \quad (2.120)$$

выражение (2.120) делим на m :

$$b\ddot{\nu} + \omega = -\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \frac{N}{m} b\dot{\nu} + \frac{N}{m} \cdot \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}},$$

Преобразуем и выражаем $\frac{N}{m}$:

$$\frac{N}{m} = \frac{b\ddot{\nu} + \omega}{\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot b\dot{\nu}}$$

Полученное выражение подставим в (2.119) и (2.120).

Таким образом, преобразованное выражение (2.119) будет выглядеть как

$$\ddot{u} + \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{u} \frac{\ddot{b\nu} + \ddot{\omega}}{\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}} = u \left(\dot{\nu} \right)^2 - g \cos(\nu - \varphi) - 2\omega \dot{\nu} + \omega^2 u,$$

домножаем на $\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}$:

получаем

$$\left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \ddot{u} + \frac{\mu}{\nu_2} \dot{u} \left(\ddot{b\nu} + \ddot{\omega} \right) = \left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \cdot \left[u \left(\dot{\nu} \right)^2 - g \cos(\nu - \varphi) - 2\omega \dot{\nu} + \omega^2 u \right]. \quad (2.121)$$

Аналогично и выражение (2.120)

$$\ddot{u\nu} + \frac{\ddot{b\nu} + \ddot{\omega}}{\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}} \left(\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{u\nu} \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) = g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega \dot{u} - 2\dot{u}\dot{\nu},$$

После домножения на $\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}$.

$$u \left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \ddot{\nu} + \left(\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{u\nu} \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) \left(\ddot{b\nu} + \ddot{\omega} \right) = \left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \cdot \text{получаем}$$

$$\cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega \dot{u} - 2\dot{u}\dot{\nu} \right],$$

$$\left(\frac{u^2}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}\dot{\nu} + \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu}\dot{\nu} \frac{b^2}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) \ddot{\nu} + \left(\frac{\mu}{\nu_2} \dot{u\nu} + \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) \ddot{\omega} =$$

$$= \left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega \dot{u} - 2\dot{u}\dot{\nu} \right],$$

после преобразования

$$\sqrt{u^2 + b^2} \cdot \ddot{\nu} + \left(\frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{u\nu} \frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}} \right) \ddot{\omega} = \left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} - \frac{\mu}{\nu_2} \cdot \dot{b\nu} \right) \cdot \left[g \sin(\nu - \varphi) + 2\omega \dot{u} - 2\dot{u}\dot{\nu} \right]. \quad (2.122)$$

Таким образом, выражение (2.121) примет вид

$$m\ddot{b}\omega + (m + m_{uu})\ddot{\omega} = -c\omega - \mu_{uu} \cdot m_{uu} \cdot g. \quad (2.123)$$

Формирование начальных условий

Следующий этап – формирование начальных условий, для этого приводим полученную систему к нормальной форме и решаем ее относительно производных

$\ddot{u}, \ddot{v}, \ddot{\omega}$.

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

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

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

Ставим начальные условия

$$u|_{t=0} = u_0, \dot{u}|_{t=0} = u_1;$$

$$v|_{t=0} = v_0, \dot{v}|_{t=0} = v_1;$$

$$\omega|_{t=0} = \omega_0, \dot{\omega}|_{t=0} = \omega_1;$$

Реальные условия для нашей задачи следующие:

$$x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0. \quad (2.124)$$

(движение частицы начинается при произвольном положении шнековой навивки рабочего органа),

$$\dot{x}(0) = 0, \dot{y}(0) = 0, \dot{z}(0) = 0. \quad (2.125)$$

Перемещение частицы ОКМ начинается со скорости равной нулю)

$\omega(0) = \tilde{\omega}_0$, причем считаем $\tilde{\omega}_0 = 0$, что соответствует точке начала движения по оси OZ.

Аналогично рабочий орган начинает движение с $\dot{\omega}(0) = 0$.

Частица ОКМ располагается на шнековой навивки рабочего органа, поэтому x_0, y_0, z_0 взаимосвязаны уравнением шнековой навивки

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= u_0 \cdot \cos \nu_0 \\ y_0 &= u_0 \cdot \sin \nu_0 \\ z_0 &= b \cdot \nu_0 \end{aligned} \right\} \quad (2.126)$$

Решая первые два уравнения, получим:

$$x_0^2 + y_0^2 = u_0^2 \Rightarrow u_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2};$$

$$\text{Третье} - \nu_0 = \frac{z_0}{b}.$$

$$\text{Далее: } x_0 = u_0 \cdot \cos \frac{z_0}{b}, \quad y_0 = u_0 \cdot \sin \frac{z_0}{b},$$

$$\text{Из этого: } x_0 \cdot u_0 \sin \frac{z_0}{b} = y_0 \cdot u_0 \cos \frac{z_0}{b} \Leftrightarrow x_0 \cdot \sin \frac{z_0}{b} = y_0 \cdot \cos \frac{z_0}{b} \quad (2.127)$$

$$\text{Известно, что } u_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \geq R_1 > 0.$$

Получается, что в первоначальный момент времени частица ОКМ находящаяся на шнековой навивки имеет координаты x_0, y_0, z_0 и удовлетворяет выражению (2.121)

$$u(0) = u_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \quad \nu(0) = \nu_0 = \frac{z_0}{b} \quad (2.128)$$

Начальное значение производных $\dot{u}(0)$ и $\dot{\nu}(0)$ из выражений (2.110), (2.111) и (2.114).

$$\text{То есть } \dot{z} = b\dot{\nu}, \text{ то, } \dot{z}(0) = b\dot{\nu}(0), \text{ а так как } \dot{z}(0) = 0 \text{ и } b \neq 0, \text{ то и } \dot{\nu}(0) = 0.$$

При ранее установленных, $x = u \cos \nu - u \nu \sin \nu$, то

$$\dot{x}(0) = \dot{u}(0) \cos \nu(0) - u(0) \dot{\nu}(0) \sin \nu(0), \text{ или с учетом (2.124), (2.128) } 0 = \dot{u}(0) \cos \nu_0.$$

Подобным образом (2.111)

$$\dot{y} = \dot{u} \sin \nu - u \dot{\nu} \cos \nu,$$

то

$$\dot{y}(0) = \dot{u}(0) \sin \nu(0) + u(0) \dot{\nu}(0) \cos \nu(0), \text{ или, с учетом (2.124), (2.128)}$$

$$0 = \dot{u}(0) \sin \nu_0.$$

Имеем:

$$\begin{cases} \dot{u}(0) \sin \nu_0 = 0 \\ \dot{\nu}(0) \cos \nu_0 = 0 \end{cases}$$

При условии $\dot{u}(0) \neq 0$, имеем $\cos \nu_0 = \sin \nu_0 = 0$ это противоречие, поэтому:

$$\dot{u}(0) = 0 \quad (2.129)$$

В результате, при условии начала движения, частица ОКМ находится на шнековой навивки неподвижного рабочего органа в точке (x_0, y_0, z_0) , имеет скорость равную нулю и удовлетворяет условию выражения (2.127)

$$x_0 \sin \frac{z_0}{b} = y_0 \cdot \cos \frac{z_0}{b},$$

При этом дифференциальные уравнения (2.121), (2.122), (2.123) имеют начальные условия:

$$u(0) = \sqrt{x_0^2 + y_0^2},$$

$$\nu(0) = \frac{z_0}{b},$$

$$\omega(0) = 0,$$

$$\dot{u}(0) = \dot{\nu}(0) = \dot{\omega}(0) = 0.$$

Пересчет координат.

Осуществим перевод координат в неподвижную систему из подвижной.

На рисунке 2.17 представлено местоположение точке М (частицы ОКМ) неподвижной (O, X_1, Y_1) и подвижной (O, X, Y) системах координат. Подвижная система координат имеет смещение по часовой относительно неподвижной стрелке на угол φ .

Из ходя из рисунка 2.17 можем записать следующее:

$$1) \quad OB = BA + AO \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{y_1}{\cos \varphi} \Rightarrow y = x \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} + \frac{y_1}{\cos \varphi} \quad (2.130)$$

$$\Rightarrow y \cos \varphi = x \cdot \sin \varphi + y_1 \Rightarrow y_1 = y \cos \varphi - x \cdot \sin \varphi \quad (2.131)$$

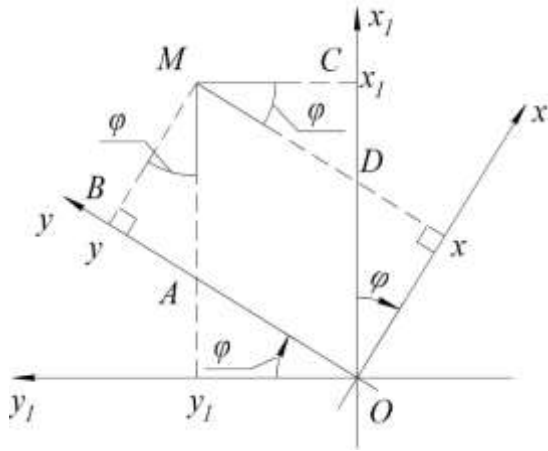


Рисунок 2.17 – Местоположение т. М в системах координат

$$2) OC = OD + DC \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow x_1 = \frac{x}{\cos \varphi} + y_1 \operatorname{tg} \varphi \Rightarrow x_1 = \frac{x}{\cos \varphi} + y_1 \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \quad (2.132)$$

Заменяя в выражение (2.132) значение y_1 из (2.131), получаем:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{x}{\cos \varphi} + (y \cos \varphi - x \sin \varphi) \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{x + y \cos \varphi \sin \varphi - x \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} = \\ &= \frac{x \cos^2 \varphi + y \cos \varphi \sin \varphi}{\cos \varphi} = x \cos \varphi + y \sin \varphi \end{aligned}$$

т.е.

$$x_1 = x \cos \varphi + y \sin \varphi \quad (2.133)$$

На основании этих выражений производим пересчет координат точки М.

3) Из формулы (2.132) получаем:

$$x_1 \cos \varphi = x + y_1 \sin \varphi \Rightarrow x = x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi \quad (2.134)$$

4) Подставляем полученное выражение (2.134) в (2.130):

$$y = (x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi) \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} + \frac{y_1}{\cos \varphi} = \frac{x_1 \cos \varphi \sin \varphi + y_1 \cos^2 \varphi}{\cos \varphi} = x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi,$$

или.

$$y = x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi \quad (2.135)$$

Таким образом, выражения (2.134) и (2.133) определяют правило пересчета координат т. М из неподвижной в подвижную систему .

Представим выражения (2.134) и (2.135) в виде матрицы:

$$\left. \begin{array}{l} x = x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi \\ y = x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi \end{array} \right\} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} \quad (2.136)$$

Аналогичным образом представим выражения (2.133) и (2.134):

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = x \cos \varphi - y \sin \varphi \\ y_1 = -x \sin \varphi + y \cos \varphi \end{array} \right\} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2.137)$$

Следует отметить, что матрица выражения (2.136) является обратной матрице Ψ (2.137).

$$\begin{aligned} \Phi \Psi &= \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi & \cos \varphi \sin \varphi - \sin \varphi \cos \varphi \\ \sin \varphi \cos \varphi - \cos \varphi \sin \varphi & \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} (uv). \end{aligned}$$

В неподвижной системе координат местоположение частицы ОКМ в момент времени t задается как:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t) &= x_1(t) = x(t) \cos \omega t + y(t) \sin \omega t = u(t) \cos \nu(t) \cos \omega t + u(t) \sin \nu(t) \sin \omega t = \\ &= u(t) \cdot \cos[\nu(t) - \omega t]; \\ \tilde{y}(t) &= y_1(t) = -x(t) \sin \omega t + y(t) \cos \omega t = -u(t) \cos \nu(t) \sin \omega t + u(t) \sin \nu(t) \cos \omega t = \\ &= u(t) \cdot \sin[\nu(t) - \omega t]; \\ \tilde{z}(t) &= z(t) + \omega(t) = b \cdot \nu(t) + \omega(t). \end{aligned} \quad (2.138)$$

Определение средней осевой скорости перемещения корма в рабочей камере смесителя.

Средняя осевая скорость перемещения кормовой массы в смесителе определим как производную от её перемещения по оси z (2.138)

$$\begin{aligned} v_c &= Z'(t) \\ v_c &= (b \cdot \nu(t) + \omega t)' = (b \cdot \nu(t))' + \omega'(t) \\ (b \cdot \nu(t))' &= b \cdot \nu'(t) \end{aligned} \quad (2.139)$$

где $\nu'(t)$ – частота вращения шнека, b – шаг спирали шнека.

$$\omega(t) = A \cos(\Omega t + a) + \frac{f}{\Omega}$$

Возьмем производную от $\omega(t)$, получим:

$$\omega'(t) = -A \sin(\Omega t + a) \cdot \Omega \quad (2.140)$$

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

Определим начальную фазу колебаний.

За один оборот смешиваемая масса переместиться на расстояние равное шагу шнековой навивки S . При этом, при осевом перемещении шнека в сторону подающего устройства экстракта смешивающий материал также вернется назад на величину амплитуды A . В результате, за один оборот шнека, смешиваемая масса переместиться на расстояние $S - A$. Исходя, из рисунка 2.18 начальная фаза определяется как:

$$\sin \alpha = \frac{S - A}{R}$$

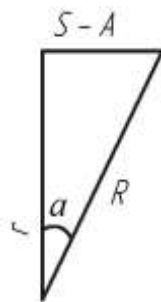


Рисунок 2.18 – Схема для расчета начальной фазы колебаний

Определим R через r и $S - A$.

По теореме Пифагора найдем R :

$$R = \sqrt{r^2 + (S - A)^2}$$

Упростим данное выражение:

$$R = r \sqrt{1 + \left(\frac{S - A}{r}\right)^2}$$

В результате получим:

$$\sin \alpha = \frac{S - A}{R} = \frac{S - A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S - A}{r}\right)^2}} \quad (2.141)$$

Из выражения (2.141) получим, что начальная фаза колебаний определится как:

$$a = \arcsin \alpha = \arcsin \frac{S - A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S - A}{r}\right)^2}} \quad (2.142)$$

Подставим значение начальной фазы колебаний из (2.142) в выражение (2.140), получим

$$\omega'(t) = -A \sin\left(\Omega t + \arcsin \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}}\right) \cdot \Omega \quad (2.143)$$

Также, исходя из конструкции смесителя, частота колебаний (Ω) соответствует частоте вращения шнека, то есть

$$n = \Omega \quad (2.144)$$

Подставим в выражение (2.144) выражение (2.143), получим

$$\omega'(t) = -A \sin\left(nt + \arcsin \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}}\right) \cdot n \quad (2.145)$$

Ранее было принято обозначение : частота вращения через – n , а шаг винтовой навивки – S .

$$v'(t) = n, \quad b = S \quad (2.146)$$

Подставим в выражение (2.139) выражения (2.144) и (2.146), получим окончательно среднюю осевую скорость перемещения массы в смесителе

$$v_c = S \cdot n - A \sin\left(nt + \arcsin \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}}\right) \cdot n, \text{ м/с} \quad (2.147)$$

Анализ полученной формулы для определения средней осевой скорости перемещения ОКМ в шнеко-лопастном смесителе зависит от его конструктивных параметров, частоты вращения и амплитуды колебания рабочего органа.

Определение подачи мембранного насоса СКЭ.

Подача СКЭ в зону смешивания шнеко-лопастного смесителя осуществляется устройством, работающего по принципу мембранного насоса (рис. 2.19). колебание мембраны происходит за счет рабочего органа смесителя, совершающего осевые возвратно-проступательные движения [186].

Делаем допущение мембрана устройства подачи СКЭ – плоская.

Объем СКЭ, подаваемый при одном перемещении рабочего органа смесителя определяется как, найдем как объем усеченного конуса за исключением объема занимаемый цапфой.

$$V = V_k - V_{ц}, \text{ м}^3 \quad (2.148)$$



Рисунок 2.19 – Конструктивная схема мембранного насоса СКЭ.

где: V_k – объем образуемый при пригибании мембраны (усеченный конус), м³; $V_{ц}$ – объем опоры рабочего ³.

Найдем V_k как

$$V_k = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2), \text{ м}^3 \quad (2.149)$$

где r_1, r_2 – соответственно радиусы камеры устройства подачи СКЭ и опоры рабочего органа смесителя, м; h – высота конуса, м.

Объем опоры рабочего органа смесителя определим по формуле

$$V_{ц} = \pi r_1^2 h, \text{ м}^3 \quad (2.150)$$

Исходя из конструкции устройства подачи СКЭ величина h определяется амплитудой колебания рабочего органа смесителя

$$h = A, \text{ м} \quad (2.151)$$

Тогда выражение (2.149) и (2.150) примут вид

$$V_k = \frac{1}{3}\pi A(r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2), \text{ м}^3 \quad (2.152)$$

$$V_{ц} = \pi r_1^2 A, \text{ м}^3 \quad (2.153)$$

На основании этого преобразуя выражение (2.148) получим

$$V = \pi A \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right), \text{ м}^3 \quad (2.154)$$

Таким образом, с учетом полученного выражения (2.154) выражение (2.77) примет вид

$$Q_2 = \pi A n \gamma_2 \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right), \text{ кг/с} \quad (2.155)$$

Из полученного выражения (2.155) следует, что производительность подающего устройства сгущенного экстракта, при заданных геометрических размерах прямо пропорциональна частоте вращения шнека-смесителя и его амплитуде колебаний [172, 199].

2.3.4 Теоретическое обоснование параметров спирального смесителя

Уравнение винтовой поверхности спирали.

Обоснуем теоретически основные параметры разрабатываемого смесителя.

Рабочим органом разработанного смесителя (рис. 2.7) является спираль, которую возможно представить в виде винтовой линии, заданную уравнениями [86, 217].

$$x = a \cdot \sin v \quad (2.156)$$

$$y = a \cdot \cos v \quad (2.157)$$

$$z = b \cdot v \quad (2.158)$$

При выполнении условий $(-\infty < v < \infty)$, $a > 0$ и $b > 0$ – фиксированные числа. Винтовая линия (рис. 2.20) представляет собой цилиндрическую $(x^2 + y^2 = a^2)$ спираль, левой навивки, с шагом s :

Представим линию заданную уравнениями (2.156) и (2.157) в плоскости XOY ,

$$x = a \cdot \sin v \text{ и } y = a \cdot \cos v$$

$$(-\infty < v < \infty),$$

Известно, что $[x(v)]^2 + [y(v)]^2 = a^2 \sin^2 v + a^2 \cos^2 v = a^2$, поэтому точка имеющая координаты $(a \cdot \sin u; a \cdot \cos u)$ находится на окружности $x^2 + y^2 = a^2$.

Анализ графических зависимостей $x(v) = a \cdot \sin v$ (рис. 2.18) и $y(v) = a \cdot \cos v$ (рис. 2.20) указывает на то, что при $0 \leq v < 2\pi$ описывается полностью, в направлении по часовой стрелке (рис. 2.21).

$$x(v) = a \cdot \sin v, \quad y(v) = a \cdot \cos v \quad (-\infty < v < \infty)$$

Из этого параметры спирали следующие:

$$s = z(2\pi) - z(0) = b \cdot 2\pi - 0 = 2\pi b. \quad (2.160)$$

$$s = 2\pi \cdot b, \quad (2.159)$$

Поверхность, описываемая радиусом c , при $c < a$, $c < \frac{s}{2}$ с ее центром расположенной на винтовой линии (рис. 2.22, 2.23).

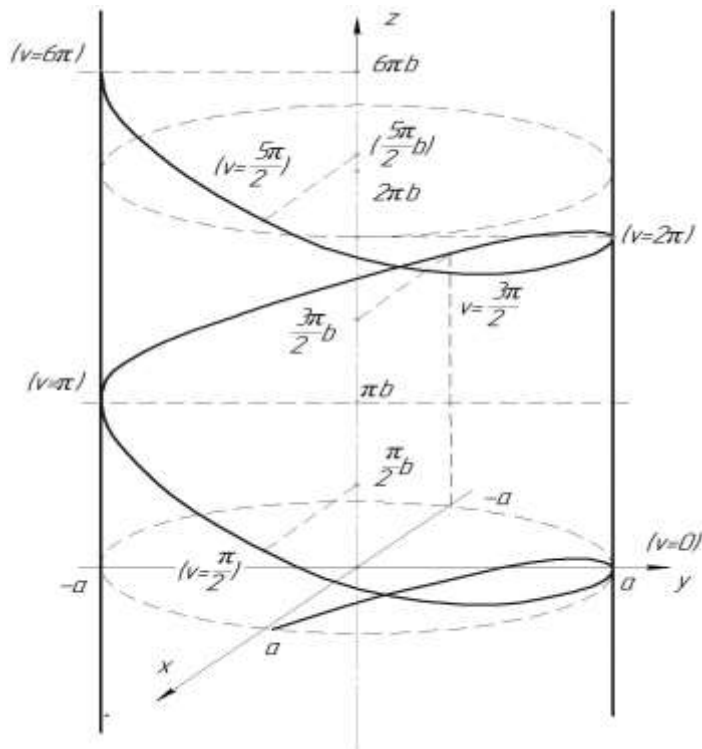
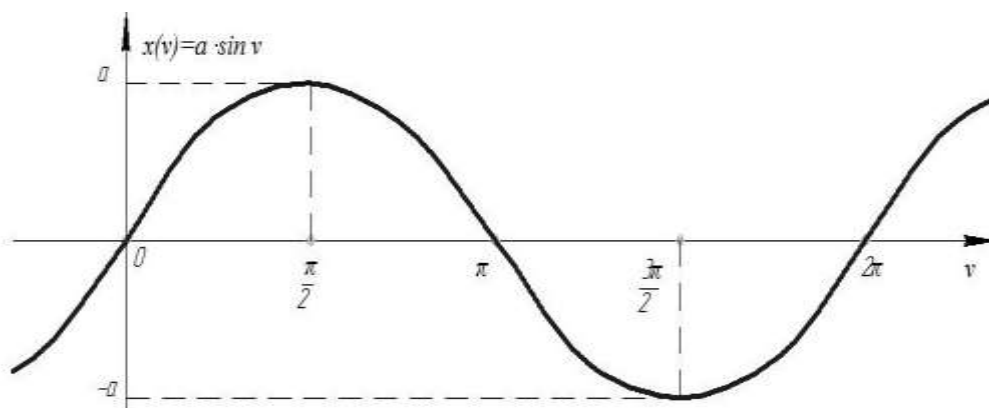
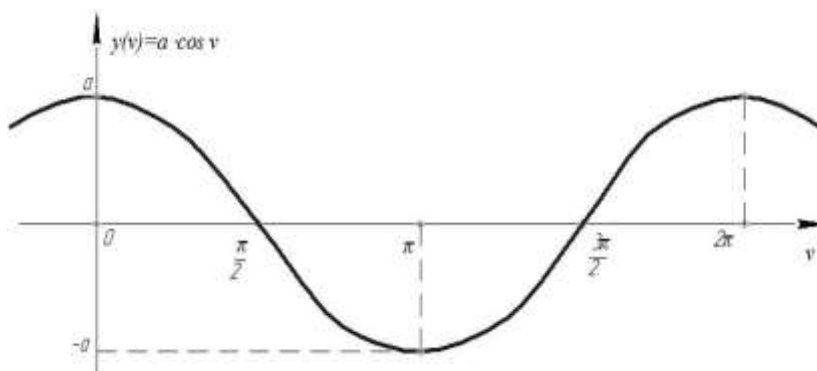


Рисунок 2.20 – Линия спирали

Рисунок 2.21–Зависимость графическая $x(v) = a \cdot \sin v$ Рисунок 2.22 – Зависимость графическая $y(v) = a \cdot \cos v$

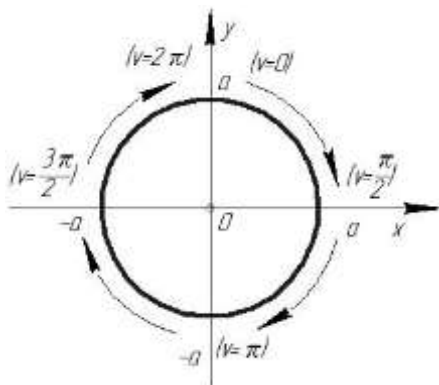


Рисунок 2.23– Линия заданная уравнениями.

Параметрические уравнения данной линии:

$$x = x(u, v) = (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v \quad (2.161)$$

$$y = y(u, v) = (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \quad (2.162)$$

$$z = z(u, v) = c \cdot \sin u + b \cdot v \quad (2.163)$$

($0 \leq u < 2\pi$; $-\infty < v < \infty$) (рис. 2.24 – 2.25)

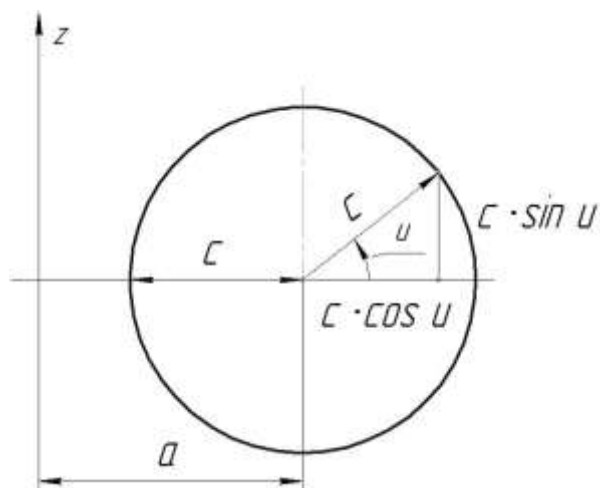


Рисунок 2.24– Вертикальное сечение витка.

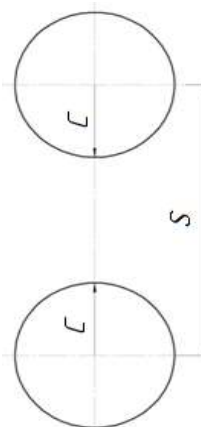


Рисунок 2.25 – Вертикальное сечение соседних витков.

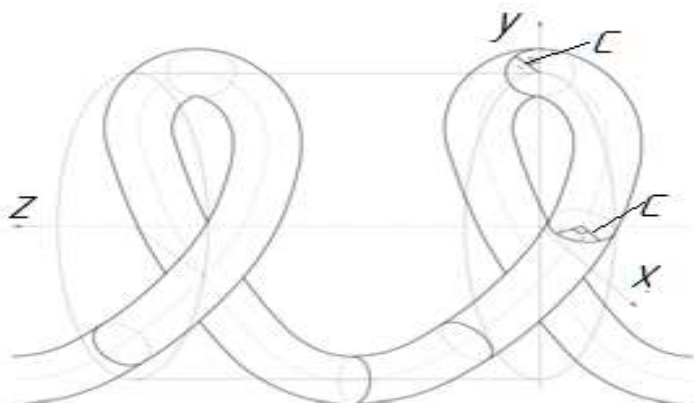


Рисунок 2.6 – Поверхность спирали.

Векторные уравнения этой нашей поверхности:

$$\bar{r} = \bar{r}(u, v) = (x(u, v); y(u, v); z(u, v))$$

Преобразуем с учетом выражений (2.161), (2.162), (2.163)

$$\bar{r}(u, v) = ((a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v; (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v; c \cdot \sin u + bv).$$

На основании полученных выражений вычислим нормаль к нашей поверхности [65] (рис. 2.27)

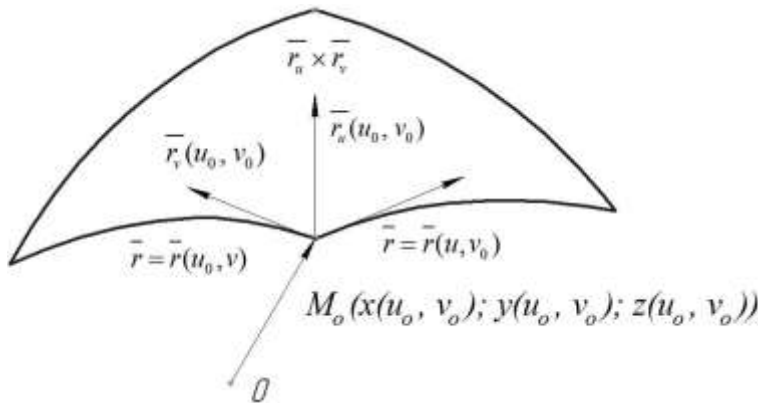


Рисунок 2.27 – Нормаль и касательные векторы.

Вектор $\bar{r}_u(u_0, v_0)$ в точке $M_0(x(u_0, v_0), y(u_0, v_0), z(u_0, v_0))$ является касательным к координатной линии ($\bar{r} = \bar{r}(u, v_0)$), аналогично вектор $\bar{r}_v(u_0, v_0)$ касательный к координатной линии ($\bar{r} = \bar{r}(u_0, v)$). Из этого получаем $\bar{r}_u \times \bar{r}_v$ ортогонален \bar{r}_u и \bar{r}_v , по правилу векторного произведения, тогда нормаль в точке M_0 : $\bar{n}(u_0, v_0) \parallel \bar{r}_u(u_0, v_0) \times \bar{r}_v(u_0, v_0)$

Из выше сказанного можем записать

$$\bar{r}(u, v) = ((a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v; (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v; c \cdot \sin u + b \cdot v), \quad (2.164)$$

из этого,

$$\bar{r}_u = (-c \cdot \sin u \cdot \sin v; -c \cdot \sin u \cdot \cos v; c \cdot \cos u), \quad (2.165)$$

$$\bar{r}_v = ((a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v; -(a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v; b) \Rightarrow \quad (2.166)$$

$$\Rightarrow \bar{r}_u \times \bar{r}_v = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -c \cdot \sin u \cdot \sin v & -c \cdot \sin u \cdot \cos v & c \cdot \cos u \\ (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v & -(a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v & b \end{vmatrix} =$$

$$\begin{aligned}
&= \bar{i}[-b \cdot c \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos u \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v] - \\
&- \bar{j}[-b \cdot c \cdot \sin u \cdot \sin v - c \cdot \cos u (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v] + \\
&+ \bar{k}[c \cdot \sin u \cdot \sin v \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v + c \cdot \sin u \cdot \cos v \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v] = \\
&= c \cdot [\bar{i} \cdot (a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v) + \\
&+ \bar{j}(a \cdot \cos u \cdot \cos v + b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v) + \\
&+ \bar{k}(a + c \cdot \cos u) \cdot \sin u] = c \cdot (n_x, n_y, n_z),
\end{aligned}$$

при этом

$$n_x = a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v,$$

$$n_y = a \cdot \cos u \cdot \cos v + b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v,$$

$$n_z = (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin u$$

Величина вектора нормали $\bar{n} = (n_x, n_y, n_z)$

$$\begin{aligned}
n &= \|\bar{n}\| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2} = \\
&= [(a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v)^2 + \\
&+ (a \cdot \cos u \cdot \cos v - b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v)^2 + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \sin^2 u]^{\frac{1}{2}} = \\
&= [(a^2 \cdot \cos^2 u \cdot \sin^2 v + b^2 \cdot \sin^2 u \cdot \cos^2 v + c^2 \cdot \cos^4 u \cdot \sin^2 v - \\
&- 2 \cdot a \cdot b \cdot \sin u \cdot \cos u \cdot \sin v \cdot \cos v + 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos^3 u \cdot \sin^2 v - \\
&- 2 \cdot b \cdot c \cdot \sin u \cdot \cos^2 u \cdot \sin v \cdot \cos v) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(a^2 \cdot \cos^2 u \cdot \cos^2 v + b^2 \cdot \sin^2 u \cdot \sin^2 v + c^2 \cdot \cos^4 u \cdot \cos^2 v + \\
& + 2 \cdot a \cdot b \cdot \sin u \cdot \cos u \cdot \sin v \cdot \cos v + 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos^3 u \cdot \cos^2 v + \\
& + 2 \cdot b \cdot c \cdot \sin u \cdot \cos^2 u \cdot \sin v \cdot \cos v) + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \sin^2 u \Big]^{\frac{1}{2}} = \\
& = [a^2 \cdot \cos^2 u + b^2 \cdot \sin^2 u + c^2 \cdot \cos^4 u + 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos^3 u + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \sin^2 u]^{\frac{1}{2}} = \\
& = [(a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \cos^2 u + b^2 \cdot \sin^2 u + (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin^2 u]^{\frac{1}{2}} = \\
& = [(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2 \cdot \sin^2 u]^{\frac{1}{2}},
\end{aligned}$$

то есть

$$n = \sqrt{(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2 \cdot \sin^2 u}. \quad (2.167)$$

Из этого следует единичная нормаль:

$$\bar{\mathcal{G}} = \pm \frac{\bar{n}}{n} = \pm \frac{1}{n} (a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v; \quad (2.168)$$

$$a \cdot \cos u \cdot \cos v + b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v; (a + c \cdot \cos u) \sin u).$$

В данном выражении знак «+» соответствует внешней нормали к винтовой поверхности

При $u=0$

$$n = \sqrt{(a + c)^2} = a + c;$$

$$\bar{n} = (a \cdot \sin v + c \cdot \sin v; a \cdot \cos v + c \cdot \cos v; 0) = (a + c) \cdot (\sin v, \cos v, 0)$$

единичная нормаль $\mathcal{G} = (\sin v; \cos v; 0)$ совпадает с радиусом-вектором (рис. 2.27 ...2.30).

При $u = \frac{\pi}{2}$: $n = \sqrt{a^2 + b^2}$; $\bar{n} = (-b \cdot \cos v; b \cdot \sin v; a)$ и знака «плюс» в выражении (2.168) единичная нормаль $\bar{\mathcal{G}}$ имеет направление вверх, это верно (рис. 2.28 и 2.29).

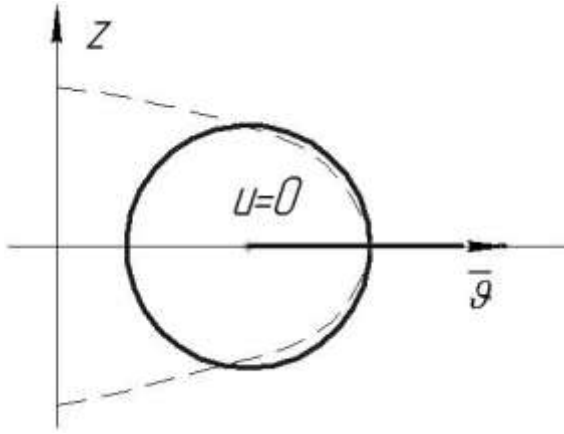


Рисунок 2.27 – Вертикальное сечение.

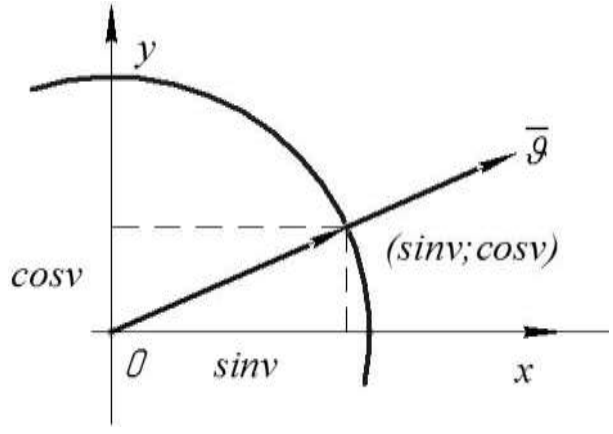


Рисунок 2.28 – Горизонтальное сечение.

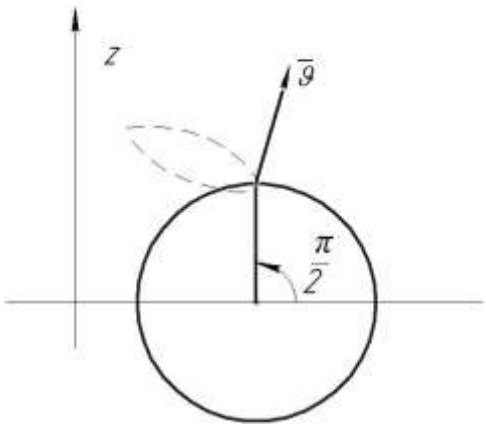


Рисунок 2.29 – Вертикальное сечение; $u = \frac{\pi}{2}$;

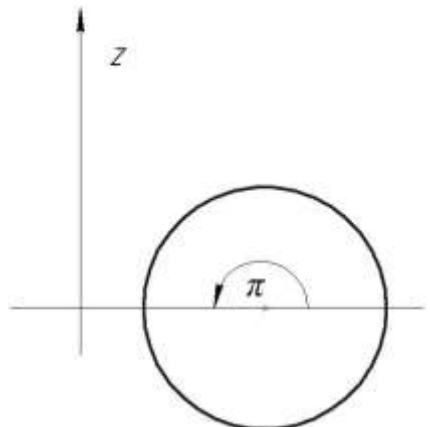


Рисунок 2.30 – Горизонтальное сечение; $u = \pi$;

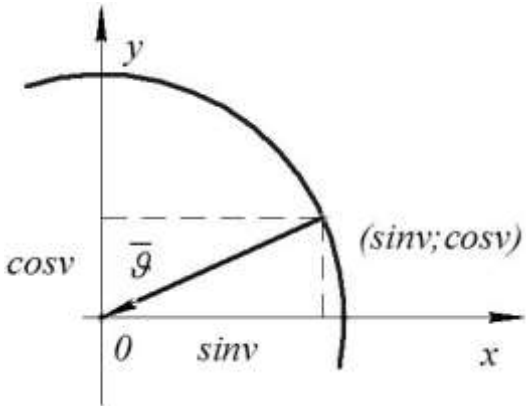


Рисунок 2.31 – Горизонтальное сечение.

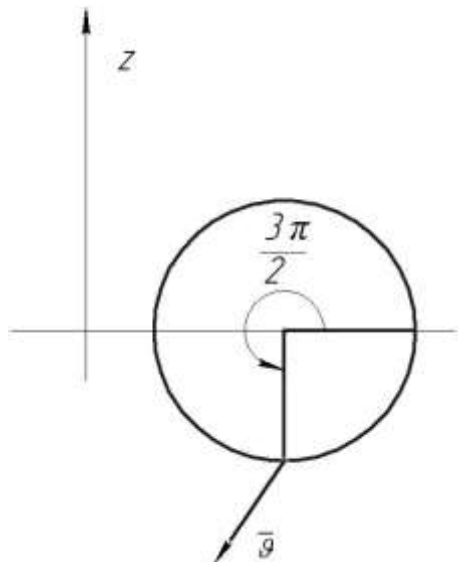


Рисунок 2.32 – Вертикальное сечение; $u = \frac{3\pi}{2}$.

При $u = \pi$ $n = \sqrt{(a-c)^2} = a-c$;

$\bar{n} = (-a \cdot \sin v + c \cdot \sin v, -a \cdot \cos v + c \cdot \cos v, 0) = (a-c) \cdot (-\sin v, -\cos v, 0)$

и знака «плюс» в выражении (2.168) единичная нормаль $\bar{\mathcal{G}} = (-\sin v; -\cos v; 0) = -(\sin v; \cos v; 0)$ противоположно направлена радиус-вектору, это верно (рис. 2.31 и 2.32).

При $u = \frac{3\pi}{2}$ $n = \sqrt{a^2 + b^2}$; $n = (b \cdot \cos v; -b \cdot \sin v; -a)$ и знака «плюс» в выражении (2.168) $\bar{\mathcal{G}}$ направлена вниз, это верно (см. рис. 2.30).

При знаке «плюс» в выражении (2.168) третья компонента $\bar{\mathcal{G}}$:

$\mathcal{G}_z = \frac{a + \cos u}{n} \cdot \sin u$ имеет положительное значение при $0 < u < \pi$ и отрицательное при $\pi < u < 2\pi$ (рис. 2.33 и 2.34).

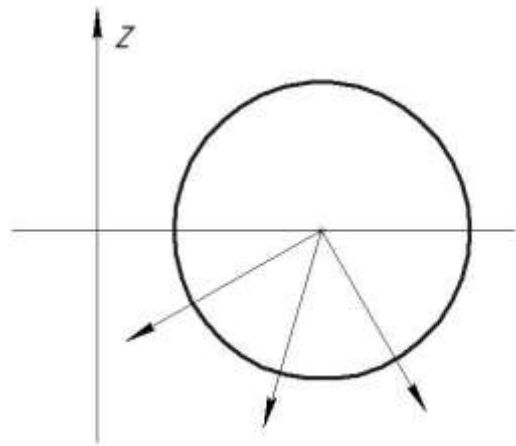
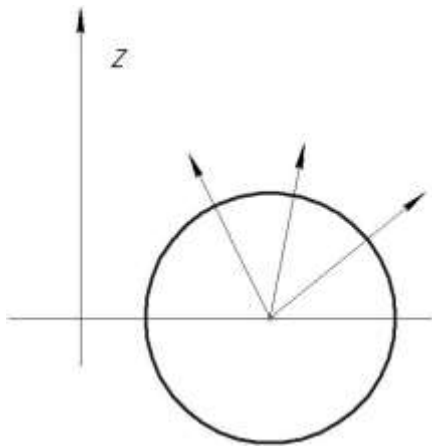


Рисунок 2.33 – Единичная нормаль при $0 < u < \pi$. Рисунок 2.34 – Единичная нормаль при $\pi < u < 2\pi$.

При условии непрерывности изменения u и v вектор $\bar{\mathcal{G}}$ изменяется аналогичным образом. Поэтому в выражении (2.168) знак «плюс» при любых u и v определяет внешнюю нормаль винтовой поверхности.

В результате $\bar{\mathcal{G}} = (v_x, v_y, v_z)$, при

$$\mathcal{G}_x = \frac{1}{n} (a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v), \quad (2.169)$$

$$\mathcal{G}_y = \frac{1}{n} (a \cdot \cos u \cdot \cos v + b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v) \quad (2.170)$$

$$\mathcal{G}_z = \frac{1}{n} (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin u \quad (2.171)$$

и

$$n = \sqrt{(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2 \cdot \sin^2 u} \quad (2.172)$$

Для данной винтовой поверхности определим квадратичные коэффициенты первой формы [65]:

$$\begin{aligned} ds^2 &= \|d\bar{r}\|^2 = \|\bar{r}_u du + \bar{r}_v dv\|^2 = (\bar{r}_u du + \bar{r}_v dv, \bar{r}_u du + \bar{r}_v dv) = \\ &= E du^2 + 2F du dv + G dv^2 \end{aligned} \quad (2.173)$$

примем обозначения:

$$E = \|\bar{r}_u\|^2; \quad G = \|\bar{r}_v\|^2; \quad F = (\bar{r}_u, \bar{r}_v). \quad (2.174)$$

Известно, что

$$\bar{r}_u = (-c \cdot \sin u \cdot \sin v; -c \cdot \sin u \cdot \cos v; c \cdot \cos u)$$

и

$$\bar{r}_v = ((a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v; -(a + c \cdot \cos u) \sin v; b).$$

Из этого следует

$$E = \|\bar{r}_u\|^2 = c^2 \cdot \sin^2 u \cdot \sin^2 v + c^2 \cdot \sin^2 u \cdot \cos^2 v + c^2 \cdot \cos^2 u =$$

$$= c^2 [\sin^2 u \cdot (\sin^2 v + \cos^2 v) \cdot \cos^2 u] = c^2;$$

$$G = \|\bar{r}_v\|^2 = (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \cos^2 v + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot \sin^2 v + b^2 = (a + c \cdot \cos u)^2 + b^2;$$

$$F = (\bar{r}_u, \bar{r}_v) = -c \cdot \sin u \cdot \sin v (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v +$$

$$+ c \cdot \sin u \cdot \cos v (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v + b \cdot c \cdot \cos u = b \cdot c \cdot \cos u$$

Матрица (2.173)

$$\begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c^2 & b \cdot c \cdot \cos u \\ b \cdot c \cdot \cos u & (a + c \cdot \cos u)^2 + b^2 \end{pmatrix};$$

с определителем:

$$g = EG - F^2 = b^2 \cdot c^2 + c^2 \cdot (a + c \cdot \cos u)^2 - b^2 \cdot c^2 \cdot \cos^2 u =$$

$$= c^2 \cdot [b^2 \cdot \sin^2 u + (a + c \cdot \cos u)^2].$$

При известной площади поверхности S :

$$\bar{r} = \bar{r}(u, v) \quad [(u, v) \in D_{u,v} \subset R^2]$$

вычисляется поверхностный интеграл [65]:

$$\mu_2(S) = \iint_{D_{u,v}} \sqrt{g} \, du \, dv.$$

Таким образом, площадь одного витка

$$\begin{aligned} \mu_2^{(1)}(S) &= \iint_{\substack{0 \leq u \leq 2\pi \\ 0 \leq v \leq 2\pi}} \sqrt{c^2 \cdot [b^2 \cdot \sin^2 u + (a + c \cdot \cos u)^2]} \, du \, dv = \\ &= 2\pi \cdot c \cdot \int_0^{2\pi} \sqrt{b^2 \cdot \sin^2 u + (a + c \cdot \cos u)^2} \, du. \end{aligned}$$

Этот интеграл относится к числу эллиптических, который не берется при произвольных a , b и c .

По выражению $\mu_2^{(m)} = m \cdot \mu_2^{(1)}$ определяется площадь m витков.

Определим внутренний объем винтовой поверхности. Для этого первоначально определим объем ограничивающий одним витком.

Примем за область V_1 с криволинейной системой координат поверхность одного витка:

$$\begin{cases} x = (a + w \cdot \cos u) \cdot \sin v \\ y = (a + w \cdot \cos u) \cdot \cos v \\ z = w \cdot \sin u + b \cdot v \end{cases} \quad (0 \leq u \leq 2\pi; 0 \leq w \leq c) \quad (2.175)$$

для единичного витка $0 \leq v \leq 2\pi$

Получим объем

$$V^{(1)} = \iiint_{\substack{0 \leq u \leq 2\pi \\ 0 \leq v \leq 2\pi \\ 0 \leq w \leq c}} |J| \cdot du \, dv \, dw,$$

$$\text{При этом } J = \det \left(\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(u, v, w)} \right) = \begin{vmatrix} x_u & x_v & x_w \\ y_u & y_v & y_w \\ z_u & z_v & z_w \end{vmatrix} \quad (2.176)$$

якобиан замены переменных выражения(2.175).

Уточнив выражение (2.176)

$$\begin{aligned}
J &= \begin{vmatrix} -w \cdot \sin u \cdot \sin v & (a + w \cdot \cos u) \cdot \cos v & \cos u \cdot \sin v \\ -w \cdot \sin u \cdot \cos v & -(a + w \cdot \cos u) \cdot \sin v & \cos u \cdot \cos v \\ w \cdot \cos u & b & \sin u \end{vmatrix} = \\
&= [w \cdot \sin u \cdot \sin v \cdot (a + \cos u) \cdot \sin v \cdot \sin u - \\
&\quad -b \cdot w \cdot \sin u \cdot \cos v \cdot \cos u \cdot \sin v + \\
&\quad + w \cdot \cos u \cdot (a + w \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \cos u \cdot \cos v] - \\
&\quad -[-w \cdot \cos u \cdot (a + w \cdot \cos u) \cdot \sin v \cdot \cos u \cdot \sin v - \\
&\quad -w \cdot \sin u \cdot \cos v \cdot (a + w \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \sin u - \\
&\quad -b \cdot \cos u \cdot \cos v \cdot w \cdot \sin u \cdot \sin v] = \\
&= w \cdot (a + w \cdot \cos u) \cdot (\sin^2 u \cdot \sin^2 v + \cos^2 u \cdot \cos^2 v + \\
&\quad + \cos^2 u \cdot \sin^2 v + \sin^2 u \cdot \cos^2 v) = w \cdot (a + w \cdot \cos u)
\end{aligned}$$

Тогда,

$$J = w \cdot (a + w \cdot \cos u)$$

и

$$\begin{aligned}
V^{(1)} &= \iiint_{\substack{0 \leq u \leq 2\pi \\ 0 \leq v \leq 2\pi \\ 0 \leq w \leq c}} w \cdot (a + w \cdot \cos u) \cdot du \, dv \, dw = \\
&= \int_0^{2\pi} dv \cdot \int_0^c dw \left\{ \int_0^{2\pi} (aw + w^2 \cdot \cos u) du \right\} = 2\pi \cdot \int_0^c a \cdot w \cdot 2\pi \cdot dw = \\
&= 4\pi^2 \cdot a \cdot \frac{w^2}{2} \Big|_0^c = 2\pi^2 ac^2 = 2\pi a \cdot \pi c^2
\end{aligned}$$

где: πc^2 – площадь сечения, м; $2\pi a$ – длина окружности, при радиусе a , винтовой линии на плоскости Oxy .

Из выше сказанного искомый объем определяется как

$$V^{(m)} = m \cdot V^{(1)} = 2m\pi^2 ac^2.$$

Если принять рассматриваемую спираль в виде трехмерного тела ограниченного винтовой поверхностью и обладающую плотностью $\rho(x,y,z)$, массу витка можно определить как

$$M_T^{(1)} = \iiint_{V_1} \rho(x,y,z) \cdot dx dy dz$$

При условии однородности материала спирали $\rho(x,y,z) = \rho_T = const$ и

$$M_T^{(1)} = \rho_T \cdot \iiint_{V_1} dx dy dz = \rho_T \cdot V^{(1)},$$

а масса спирали

$$M_T^{(m)} = m \cdot M_T^{(1)} = m \cdot \rho_T \cdot V^{(1)} = m \cdot \rho_T \cdot 2\pi^2 a c^2. \quad (2.177)$$

Определим массу рабочего органа изготовленного макета спирального смесителя.

При известных величинах $d_{внеш} = 65 \text{ мм} = 0,065 \text{ м}$ и $d_{внутр} = 55 \text{ мм} = 0,055 \text{ м}$ (рис. 2.35).

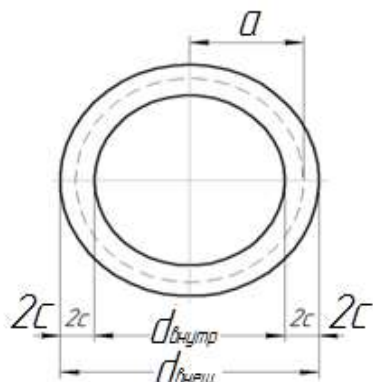


Рисунок 2.35 – Торцевая поверхность спирали.

$$2a = \frac{d_{внеш} + d_{внутр}}{2} = \frac{65 + 55}{2} = 60 \text{ мм},$$

То есть $a = 30 \text{ мм}$.

$$4c = d_{внеш} - d_{внутр} = 10 \text{ мм},$$

$c = 2,5 \text{ мм}$.

При известной плотности материала ($\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$), из которого изготовили спираль, ее масса составит (21):

$$M = m \cdot \rho \cdot 2\pi^2 \cdot a \cdot c^2$$

С учетом количества витков $m = 27$:

$$M = 27 \cdot 7850 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot 0,03 \cdot (0,0025)^2 = 0,784 \text{ кг.}$$

Таким образом, масса рабочего органа лабораторного макета спирального смесителя составила 0,784 кг.

Вывод уравнений относительного движения частицы по спирали

Рабочий орган во время работы повторяет форму корпуса форму корпуса спирального смесителя. В нашем случае принимаем в качестве математической модели среднюю часть рабочего органа как цилиндрическую спиральную поверхность.

Примем неподвижную систему координат с началом в точке пересечения осевых линий рабочего органа и смесителя. Направление оси OZ_1 соответствует движению корма от загрузного окна к выгрузному (рис. 2.36).

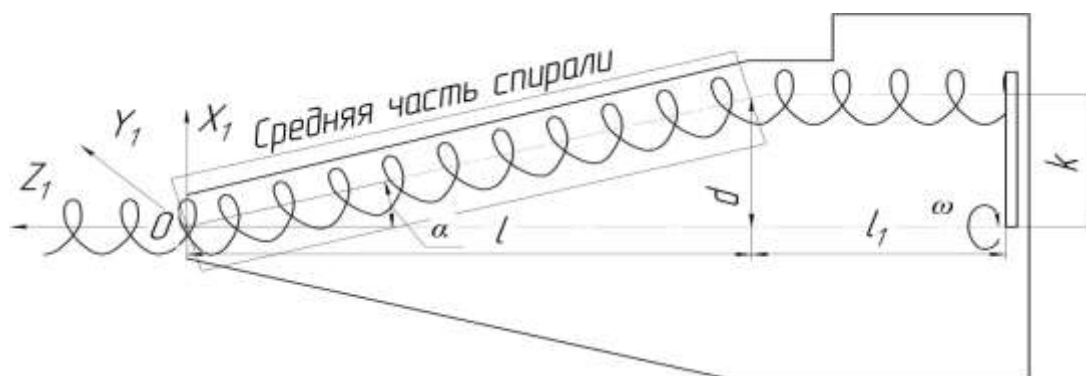


Рисунок 2.36– Спиральный смеситель.

Расположение осей принятой системы координат поясняется рисунком 2.37. В данном случае принятая система координат является положительно ориентированной.

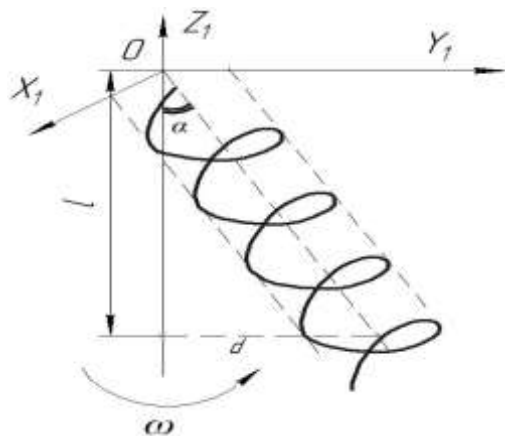


Рисунок 2.38 – Схема направлений осей принятой системы координат.

При $t > 0$ – промежуток времени от начала движения ($t = 0$). Из хода из предложенной конструкции спирального смесителя водило передающее крутящий момент спирали вращается с постоянной скоростью (ω), относительно OZ_1 . Вращение спирали имеет направление – по часовой стрелке.

Тогда за время t угол поворота водило составит

$$\varphi = \varphi(t) = \omega \cdot t$$

Введем подвижную систему координат $OXYZ$ с ортами $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ и свяжем ее с рабочим органом. При этом системы координат неподвижной $OX_1Z_1Y_1$ и подвижной $OXYZ$ совпадают. При $t = 0$ оси OX и OX_1 совпадают, а OZ и OY расположены в плоскости OY_1Z_1 под угол отклонения α к OZ и OY_1 соответственно (рис. 2.39).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d}{l}\right) \quad (2.178)$$

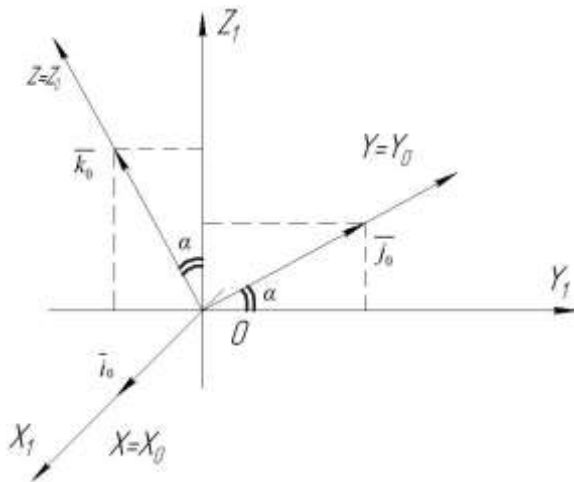


Рисунок 2.39 – Расположение подвижной и неподвижной систем координат при $t = 0$.

При $t = 0$ орты осей :

$$OX — \bar{i}_0 = (1; 0; 0),$$

$$OY — \bar{j}_0 = (0; \cos \alpha; \sin \alpha),$$

$$OZ — \bar{k}_0 = (0; -\sin \alpha; \cos \alpha)$$

При повороте оси OX в плоскости X_1OY_1 на угол $\varphi = \omega \cdot t$ за время t она переместится на угол равный

$$\varphi = \omega \cdot t .$$

Тогда её орты приобретут вид (рис. 2.40).

$$\bar{i}_\varphi = (\cos \varphi, \sin \varphi, 0)$$

$$\bar{j}_\varphi = (-\cos \alpha \cdot \sin \varphi; \cos \alpha \cdot \cos \varphi; \sin \alpha)$$

$$\bar{k}_\varphi = (\sin \alpha \cdot \sin \varphi; -\sin \alpha \cdot \cos \varphi; \cos \alpha).$$

Представим матрицу отражающую переход от (x_1, y_1, z_1) к (x, y, z) , через базисные векторы $\bar{i}_\varphi, \bar{j}_\varphi, \bar{k}_\varphi$ [208]:

$$S = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (2.1799)$$

В результате преобразуем координаты системы (x_1, y_1, z_1) и выразим как [33]:

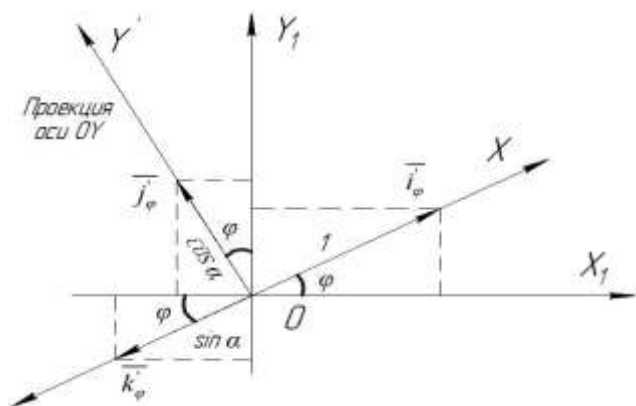


Рисунок 2.40 – Проекция OXYZ на OX₁Y₁

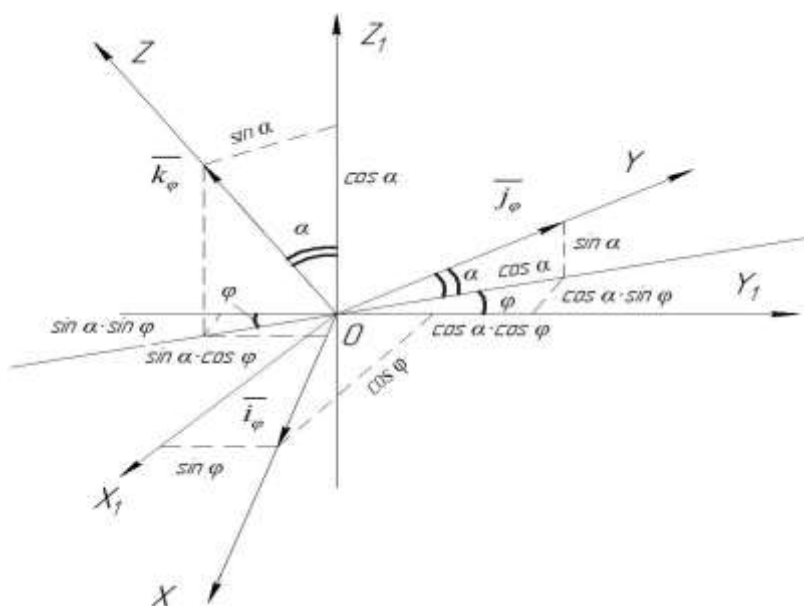


Рисунок 2.41 – Положение X₁OY₁ при повороте, относительно OX₁ на угол φ .

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2.180)$$

или,

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x \cdot \cos \varphi - y \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi + z \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ y_1 &= x \cdot \sin \varphi + y \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi - z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi \\ z_1 &= y \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.181)$$

Далее рассмотрим случай поворота против часовой стрелки на угол α относительно оси OX_1 (рис. 2.42).

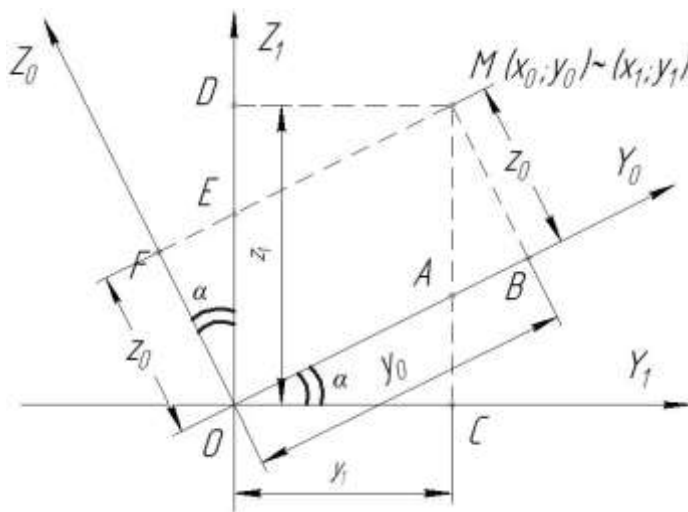


Рисунок 2.42 – Положение OY_1Z_1 при повороте, против часовой стрелки, относительно OX_1 на угол α .

Известно:

$$1) \quad OB = OA + AB, \text{ или}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{y_1}{\cos \alpha} + z_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \frac{y_1}{\cos \alpha} = y_0 - z_0 \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow \\ &\Rightarrow y_1 = y_0 \cdot \cos \alpha - z_0 \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.182)$$

$$2) \quad OD = OE + DE, \text{ или}$$

$$z_1 = \frac{z_0}{\cos \alpha} + y_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ с учетом (2.182),}$$

$$z_1 = \frac{z_0}{\cos \alpha} + (y_0 \cdot \cos \alpha - z_0 \sin \alpha) \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} =$$

$$= y_0 \cdot \sin \alpha + z_0 \cdot \frac{1 - \sin^2 \alpha}{\cos \alpha} = y_0 \cdot \sin \alpha + z_0 \cdot \cos \alpha,$$

$$\text{в результате} \quad z_1 = y_0 \cdot \sin \alpha + z_0 \cdot \cos \alpha \quad (2.183)$$

$$\text{и } x_1 = x_0. \quad (2.184)$$

Таким образом, полученные выражения 2.181 и 2.182 позволяют преобразовать координаты при повороте OY_1Z_1 в направлении против часовой стрелки на угол α относительно оси OX_1 :

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 \\ y_1 &= y_0 \cdot \cos \alpha - z_0 \cdot \sin \alpha \\ z_1 &= y_0 \cdot \sin \alpha + z_0 \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\}$$

или, в матричном виде,

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} \quad (2.185)$$

с матрицей

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (2.186)$$

Следовательно, обратное преобразование, поворот на угол α по направлению часовой стрелке относительно OX_1 позволит задать матрица:

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (2.187)$$

Подобно выше изложенному, получаем выражения для преобразования (x_1, y_1, z_1) при их перемещении, относительно OZ_1 на угол φ

$$\begin{cases} x_2 = x_1 \cdot \cos \varphi - y_1 \cdot \sin \varphi \\ y_2 = x_1 \cdot \sin \varphi + y_1 \cdot \cos \varphi \\ z_2 = z_1 \end{cases}$$

или

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad (2.188)$$

с матрицей

$$\Phi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.189)$$

Аналогично для обратное преобразования матрицы будет иметь вид

$$\Phi^{-1} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.190)$$

Преобразуем полученную ранее матрицу S

.Представим в виде произведения

$$\begin{pmatrix} \cos \varphi & -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

или

$$S = \Phi \cdot A \quad (2.191)$$

С учетом полученных выражений при преобразовании координат: (2.185), (2.188), обратная матрица примет вид [38]:

$$\begin{aligned} S^{-1} &= (\Phi \cdot A)^{-1} = A^{-1} \cdot \Phi^{-1} = \\ &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & \sin \alpha \\ \sin \alpha \cdot \sin \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi & \cos \alpha \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.192)$$

Следовательно, подвижная и неподвижная системы координат связаны выражениями:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & \sin \alpha \\ \sin \alpha \cdot \sin \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad (2.193)$$

или;

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1 \cdot \cos \varphi + y_1 \cdot \sin \varphi \\ y &= -x_1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi + y_1 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi - z_1 \cdot \sin \alpha \\ z &= x_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi - y_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi + z_1 \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.194)$$

Уравнение перемещения кормовой массы в спиральном смесителе.

Рассмотрим движение частицы массой m относительно рабочего органа. По закону Ньютона:

$$\bar{F} = m \cdot \bar{a} \quad (2.195)$$

применительно к данной конструкции спирального смесителя [6]

$$\bar{a} = \bar{a}_r + \bar{a}_c + \bar{a}_e,$$

где \bar{a}_r , \bar{a}_c , \bar{a}_e – соответственно ускорение, относительного движения; кориолисово и переносного движения.

$$\bar{F} = \bar{F}_{mp} + \bar{N} + \bar{G},$$

где \bar{F}_{mp} , \bar{G} , \bar{N} – соответственно сила, нормального давления, трения частицы о спираль и тяжести.

Следовательно, уравнения движения частицы относительно рабочего органа

$$m \cdot \bar{a}_r = \bar{F}_{mp} + \bar{N} + \bar{G} - m \cdot \bar{a}_c - m \cdot \bar{a}_e. \quad (2.196)$$

Как было принято ранее со спиральным смесителем связана система координат $OXYZ$.

Частица в момент времени t имеет радиус-вектор

$$\bar{r} = \bar{r}(t) = (x; y; z),$$

$$\text{где } x = x(t), y = y(t), z = z(t),$$

Тогда относительная скорость

$$\bar{v}_r = \bar{v}_r(t) = \frac{d\bar{r}}{dt} = \left(\frac{dx}{dt}; \frac{dy}{dt}; \frac{dz}{dt} \right) \equiv (\dot{x}; \dot{y}; \dot{z}),$$

ускорение

$$\bar{a}_r = \bar{a}_r(t) = \frac{d\bar{v}_r}{dt} = \left(\frac{d^2x}{dx^2}; \frac{d^2y}{dy^2}; \frac{d^2z}{dz^2} \right) \equiv (\ddot{x}; \ddot{y}; \ddot{z}).$$

Радиус-вектор угловой скорости в (x_1, y_1, z_1) определяется как

$$\bar{\omega}_1 = (0; 0; \omega)$$

А в системе координат (x, y, z)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & \sin \alpha \\ \sin \alpha \cdot \sin \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \cdot \sin \alpha \\ \omega \cdot \cos \alpha \end{pmatrix},$$

т.е.

$$\omega = (0; \omega \cdot \sin \alpha; \omega \cdot \cos \alpha)$$

Тогда ускорение Кориолиса

$$\begin{aligned} \bar{a}_c &= 2\bar{\omega} \times \bar{v}_r = 2 \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & \omega \cdot \sin \alpha & \omega \cdot \cos \alpha \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = \\ &= 2\omega \left[\bar{i} \cdot (\dot{z} \cdot \sin \alpha - \dot{y} \cdot \cos \alpha) - \bar{j} \cdot (-\dot{x} \cdot \cos \alpha) + \bar{k} \cdot (-\dot{x} \cdot \sin \alpha) \right] = \\ &= 2\omega \cdot (\dot{z} \cdot \sin \alpha - \dot{y} \cdot \cos \alpha; \dot{x} \cdot \cos \alpha; -\dot{x} \cdot \sin \alpha). \end{aligned}$$

Ускорение относительного движения:

$$\bar{a}_e = \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}).$$

Первоначально рассмотрим произведение $(\omega \times r)$

получим

$$\begin{aligned} \bar{\omega} \times \bar{r} &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & \omega \cdot \sin \alpha & \omega \cdot \cos \alpha \\ x & y & z \end{vmatrix} = \\ &= \omega \left[\bar{i} \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha) - \bar{j} \cdot (-x \cdot \cos \alpha) + \bar{k} \cdot (-x \cdot \sin \alpha) \right] = \\ &= \omega \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha; x \cdot \cos \alpha; -x \cdot \sin \alpha), \end{aligned} \tag{1.197}.$$

$$\begin{aligned} \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) &= \omega^2 \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \\ z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha & x \cdot \cos \alpha & -x \cdot \sin \alpha \end{vmatrix} = \\ &= \omega^2 \left[\bar{i} \cdot (-x \cdot \sin^2 \alpha - x \cdot \cos^2 \alpha) - \bar{j} \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha) \cdot (-\cos \alpha) + \right. \\ &\quad \left. + \bar{k} \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha) \cdot (-\sin \alpha) \right] = \end{aligned}$$

$$= \omega^2 \cdot \left[-\bar{i} \cdot x + \bar{j} \cdot \cos \alpha \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha) + \bar{k} \cdot \sin \alpha \cdot (y \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha) \right] = \omega^2 \cdot (-x; \cos \alpha (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha); \sin \alpha (y \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha)).$$

Выполним проверочное вычисление по выражению:

$$\bar{a} \times (\bar{b} \times \bar{c}) = \bar{b}(\bar{a}, \bar{c}) - \bar{c}(\bar{a}, \bar{b}).$$

В данном случае $\bar{a} = \bar{\omega}$, $\bar{b} = \bar{\omega}$, $\bar{c} = \bar{r}$, отсюда

$$\bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) = \bar{\omega}(\bar{\omega}, \bar{r}) - \bar{r}(\bar{\omega}, \bar{\omega}) = \bar{\omega} \cdot (\omega \cdot y \cdot \sin \alpha + \omega \cdot z \cdot \cos \alpha) - \bar{r} \cdot \omega^2 =$$

$$= \omega \cdot (y \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \cdot \sin \alpha \\ \omega \cdot \cos \alpha \end{pmatrix} - \omega^2 \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} =$$

$$= \omega^2 \begin{pmatrix} -x \\ y \cdot \sin^2 \alpha + z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - y \\ y \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + z \cdot \cos^2 \alpha - z \end{pmatrix} = \omega^2 \begin{pmatrix} -x \\ z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - y \cdot \cos^2 \alpha \\ y \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin^2 \alpha \end{pmatrix}.$$

Результат аналогичен.

Таким образом вектор ускорения относительного движения

$$\bar{a}_c = \omega^2 (-x; z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - y \cdot \cos^2 \alpha; y \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin^2 \alpha).$$

Направление силы тяжести в системах координат:

неподвижной (x_1, y_1, z_1) (рис. 2.43)

$$\bar{G}_1 = (-mg; 0; 0)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\cos \alpha \cdot \sin \varphi & \cos \alpha \cdot \cos \varphi & \sin \alpha \\ \sin \alpha \cdot \sin \varphi & -\sin \alpha \cdot \cos \varphi & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -mg \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -mg \cdot \cos \varphi \\ mg \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi \\ -mg \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi \end{pmatrix}.$$

Таким образом

$$\bar{G} = (-mg \cdot \cos \varphi; mg \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi; -mg \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi).$$

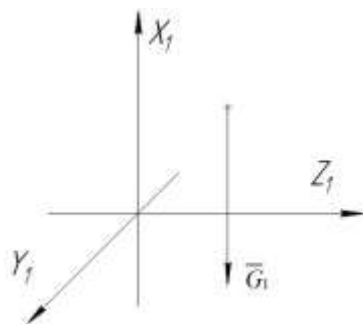


Рисунок 2.43 – Направление силы тяжести в неподвижной системе координат.

и подвижной по выражению (2.194)

Далее:

$$\bar{N} = N \cdot \bar{\mathcal{G}},$$

где N – длина вектора \bar{N} .

$$N = \|\bar{N}\|$$

$\bar{\mathcal{G}} = (\mathcal{G}_x; \mathcal{G}_y; \mathcal{G}_z)$ – единичный нормаль к поверхности спирали.

$$\bar{\mathcal{G}} = (\mathcal{G}_x; \mathcal{G}_y; \mathcal{G}_z)$$

$$\text{Сила трения } \bar{F}_{mp} = -\mu \cdot N \cdot \frac{\bar{v}_r}{v_r},$$

где: $\bar{v}_r = (\dot{x}; \dot{y}; \dot{z})$ – скорость перемещения частицы по рабочему органу, $v_r = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2 + (\dot{z})^2}$ – длина

вектора, μ – коэффициент трения,

$$\bar{v}_r = (\dot{x}; \dot{y}; \dot{z})$$

$$v_r = \|\bar{v}_r\| = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2 + (\dot{z})^2}$$

В результате выражение относительного движения частицы по рабочему органу в развернутом векторном виде

$$m \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = -\frac{\mu \cdot N}{v_r} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} + N \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -mg \cdot \cos \varphi \\ mg \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi \\ -mg \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi \end{pmatrix} -$$

$$-m \cdot 2\omega \begin{pmatrix} \dot{z} \cdot \sin \alpha - \dot{y} \cdot \cos \alpha \\ \dot{x} \cdot \cos \alpha \\ -\dot{x} \cdot \sin \alpha \end{pmatrix} - m \cdot \omega^2 \begin{pmatrix} -x \\ z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - y \cdot \cos^2 \alpha \\ y \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin^2 \alpha \end{pmatrix},$$

в координатной форме,

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

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

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

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

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

$$+ 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{x} \cdot \sin \alpha + m \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot (z \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos \alpha) \quad (2.201)$$

Преобразование уравнений относительного движения с использованием уравнений винтовой поверхности.

Таким образом, результирующие выражения (2.199), (2.199) и (2.200) позволили получить систему трех уравнений имеющую четыре неизвестные. Для решения данной системы дополним ее полученными ранее уравнениями поверхности (2.161, 2.162, 2.163).

$$\left. \begin{aligned} x &= (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v \\ y &= (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \\ z &= c \cdot \sin u + b \cdot v \end{aligned} \right\} \quad (2.202)$$

Таким образом, перейдем от переменных x, y, z которые являются зависимыми к независимым – u и v ; это позволит сократить количество неизвестных до трех и решить систему.

Принимая: $u = u(t)$ и $v = v(t)$, на основании выражением (2.202) проведем пересчет производных

$$1) \ x(t) = [a + c \cdot \cos u(t)] \cdot \sin v(t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{x} = -c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \dot{v}$$

$$\dot{x} = -c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v. \quad (2.203)$$

$$\ddot{x} = -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v - c \cdot \dot{u} \cdot \cos u \cdot \dot{u} \cdot \sin v - c \cdot \sin u \cdot \cos v \cdot \dot{v} -$$

$$-c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \cos v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \cos v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot (-\sin v) \cdot \dot{v},$$

в результате

$$\ddot{x} = -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \cos v - c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \sin v -$$

$$-(a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \sin v - 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \cos v. \quad (2.204)$$

$$2) \ y(t) = [a + c \cdot \cos u(t)] \cdot \cos v(t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{y} = -c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v \cdot \dot{v}$$

$$\dot{y} = -c \cdot \dot{u} \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v \quad (2.205)$$

$$\ddot{y} = -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - c \cdot \dot{u} \cdot \cos u \cdot \dot{u} \cdot \cos v - c \cdot \dot{u} \cdot \sin u (-\sin v) \cdot \dot{v} +$$

$$+c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \dot{v} \cdot \cos v \cdot \dot{v},$$

в результате

$$\begin{aligned} \ddot{y} = & -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \sin v - c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \cos v - \\ & - (a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \cos v + 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \sin v. \end{aligned} \quad (2.206)$$

$$3) z(t) = c \cdot \sin u(t) + b \cdot v(t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{z} = c \cdot \cos u \cdot \dot{u} + b \cdot \dot{v} \quad (2.207)$$

$$\Rightarrow \ddot{z} = -c \cdot \sin u \cdot (\dot{u})^2 + c \cdot \cos u \cdot \ddot{u} + b \cdot \ddot{v} \quad (2.208)$$

На основании выше изложенного квадрат длины вектора относительной скорости выразится как

$$\begin{aligned} v_r^2 = & (\dot{x})^2 + (\dot{y})^2 + (\dot{z})^2 = [-c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v]^2 + \\ & + [-c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v]^2 + (c \cdot \dot{u} \cdot \cos u + b \cdot \dot{v})^2 = \\ = & c^2 \cdot (\dot{u})^2 \cdot \sin^2 u \cdot \sin^2 v + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot (\dot{v})^2 \cdot \cos^2 v - \\ & - 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v + \\ & + c^2 \cdot (\dot{u})^2 \cdot \sin^2 u \cdot \cos^2 v + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot (\dot{v})^2 \cdot \sin^2 v + \\ & + 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v + \\ & + c^2 \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos^2 u + b^2 \cdot (\dot{v})^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \cos u = \\ = & c^2 \cdot (\dot{u})^2 \cdot (\sin^2 u \cdot \sin^2 v + \sin^2 u \cdot \cos^2 v + \cos^2 u) + \\ & + (a + c \cdot \cos u)^2 \cdot (\dot{v})^2 \cdot (\cos^2 v + \sin^2 v) + b^2 \cdot (\dot{v})^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \cos u = \\ = & c^2 \cdot (\dot{u})^2 + [(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2] \cdot (\dot{v})^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \cos u. \end{aligned}$$

Из этого вектора относительной скорости

$$v_r = \sqrt{c^2 \cdot (\dot{u})^2 + [(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2] \cdot (\dot{v})^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \cos u}. \quad (2.209)$$

Теперь определим составляющие вектора единичной внешней нормали по выражениям (2.170), (2.171), (2.172), (2.173)

$$\mathcal{G}_x = \frac{1}{n} (a \cdot \cos u \cdot \sin v - b \cdot \sin u \cdot \cos v + c \cdot \cos^2 u \cdot \sin v), \quad (2.210)$$

$$\mathcal{G}_y = \frac{1}{n} (a \cdot \cos u \cdot \cos v + b \cdot \sin u \cdot \sin v + c \cdot \cos^2 u \cdot \cos v), \quad (2.209)$$

$$\mathcal{G}_z = \frac{1}{n} \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin u, \quad (2.210)$$

при

$$n = \sqrt{(a + c \cdot \cos u)^2 + b^2 \cdot \sin^2 u} \quad (2.211)$$

На основании выше изложенного и деления на m выражения (2.198), (2.199) и (2.200) будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned} & -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \cos v - \\ & -c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \sin v - 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \cos v = \\ & = \frac{N}{m} \left\{ \mathcal{G}_x + \frac{\mu}{v_r} [c \cdot \sin u \cdot \dot{u} \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v] \right\} - \\ & -g \cdot \cos \varphi + \omega^2 \cdot (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v - \\ & -2 \cdot \omega \cdot \{ [c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v] \cdot \cos \alpha + \\ & \quad + (c \cdot \cos u \cdot \dot{u} + b \cdot \dot{v}) \cdot \sin \alpha \}. \quad (2.212) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -c \cdot \ddot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \ddot{v} \cdot \sin v - \\ & -c \cdot (\dot{u})^2 \cdot \cos u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot (\dot{v})^2 \cdot \cos v + 2 \cdot c \cdot \dot{u} \cdot \dot{v} \cdot \sin u \cdot \sin v = \\ & = \frac{N}{m} \left\{ \mathcal{G}_y + \frac{\mu}{v_r} [c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \cos v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \sin v] \right\} + \\ & +g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi - \omega^2 \cdot \cos \alpha \cdot [(a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \cos \alpha - (c \cdot \sin u + b \cdot v) \cdot \sin \alpha] + \\ & +2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha [c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v - (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v]. \quad (2.213) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -c \cdot \sin u \cdot (\dot{u})^2 + c \cdot \cos u \cdot \ddot{u} + b \cdot \ddot{v} = \\ & = \frac{N}{m} \left[\mathcal{G}_z - \frac{\mu}{v_r} (c \cdot \cos u \cdot \dot{u} + b \cdot \dot{v}) \right] - g \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi + \\ & +\omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot [(c \cdot \sin u + b \cdot v) \cdot \sin \alpha - (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v \cdot \cos \alpha] + \\ & +2 \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot [-c \cdot \dot{u} \cdot \sin u \cdot \sin v + (a + c \cdot \cos u) \cdot \dot{v} \cdot \cos v]. \quad (2.214) \end{aligned}$$

Из полученных выражений исключим величину $\frac{N}{m}$ и разрешим данную систему.

$$\begin{cases} \ddot{u} = F(t, u, v, \dot{u}, \dot{v}); \\ \ddot{v} = G(t, u, v, \dot{u}, \dot{v}). \end{cases}$$

Задаем начальные условия.

$$u|_{t=0} = u_0, \dot{u}|_{t=0} = u_1,$$

$$v|_{t=0} = v_0, \dot{v}|_{t=0} = v_1.$$

Начальные условия нашей задачи – частица корма начинает движение по спиральной поверхности с нулевой скорости и из произвольного положения.

$$x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0 \quad (2.215)$$

$$\dot{x}(0) = 0, \dot{y}(0) = 0, \dot{z}(0) = 0 \quad (2.216)$$

Координаты точки первоначального положения частицы x_0 , y_0 и z_0 не являются произвольными. Их связь определяет уравнение, полученное ранее, винтовой поверхности (2.161), (2.162), (2.163):

$$x_0 = (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \sin v_0 \quad (2.217)$$

$$y_0 = (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \cos v_0 \quad (2.218)$$

$$z_0 = c \cdot \sin u_0 + b \cdot v_0 \quad (2.219)$$

при этом

$$z_2 \cdot \cos \alpha \leq z_0 \leq z_1 \cdot \cos \alpha \quad (2.220)$$

Из уравнений (2.217) и (2.218)

$$x_0^2 + y_0^2 = (a + c \cdot \cos u_0)^2 \Rightarrow a + c \cdot \cos u_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \Rightarrow \cos u_0 = \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c}$$

Данное выражение имеет решение при

$$\begin{aligned} -1 \leq \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c} \leq 1 &\Leftrightarrow a - c \leq \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \leq a + c \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (a - c)^2 \leq x_0^2 + y_0^2 \leq (a + c)^2 \end{aligned} \quad (2.221)$$

Выполняя данное условие, можем принять

$$u_0 = \pm \arccos \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c} \quad (2.222)$$

$$\sin u_0 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 u_0} = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c} \right)^2} = \pm \frac{\sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{c}$$

Из выражений (2.217) и (2.218) соответственно получаем:

$$\sin v_0 = \frac{x_0}{a + c \cdot \cos x_0} = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}};$$

$$\cos v_0 = \frac{y_0}{a + c \cdot \cos u_0} = \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}};$$

Таким образом, условия для определения знака угла $v_0 \in [0; 2\pi)$ (рис. 2.44)

$$\left. \begin{aligned} \sin v_0 &= \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}; \\ \cos v_0 &= \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}; \end{aligned} \right\} \quad (2.223)$$

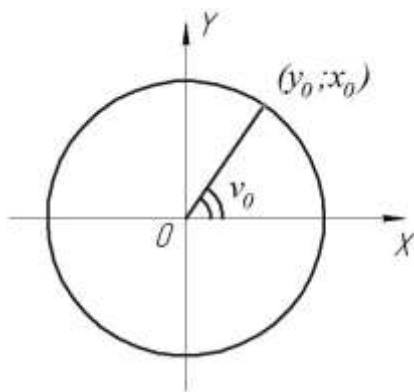


Рисунок 2.44 – Схема к определению знака угла

Из выражения (2.219)

$$v_0 = \frac{z_0 - c \cdot \sin u_0}{b} = \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b},$$

Следовательно

$$1) \quad \sin v_0 = \sin \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b},$$

или

$$\sin \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b} = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \quad (2.224)$$

$$2) \quad \cos v_0 = \cos \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b},$$

или

$$\cos \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b} = \frac{y}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}, \quad (2.225)$$

На основании выше изложенного, частица имеет координаты $(x_0; y_0; z_0)$ и удовлетворяет условиям (2.220), (2.221), и (2.224), (2.225) с соответствующим знаком («-» или «+»), выражение (2.222) примет вид

$$u_0 = \pm \arccos \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c}$$

следовательно

$$v_0 = \frac{z_0 \pm \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b} \quad (2.226)$$

Начальные значения производных $\dot{i}(0)$ и $\dot{v}(0)$ определим по выражениям (2.201), (2.203) и (2.205)

$$\begin{aligned} \dot{x}(0) = 0 &\Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow -c \cdot \dot{i}(0) \cdot \sin u_0 \cdot \sin v_0 + (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \dot{v}(0) \cdot \cos v_0 = 0; \end{aligned} \quad (2.227)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}(0) = 0 &\Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow -c \cdot \dot{i}(0) \cdot \sin u_0 \cdot \cos v_0 - (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \dot{v}(0) \cdot \sin v_0 = 0; \end{aligned} \quad (2.228)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}(0) = 0 &\Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow c \cdot \cos u_0 \cdot \dot{i}(0) + b \cdot \dot{v}(0) = 0. \end{aligned} \quad (2.229)$$

Таким образом $\dot{i}(0) = 0$, $\dot{v}(0) = 0$; докажем что полученная система не имеет иных решений.

Уравнения (2.227), (2.228) нетривиально решаемы, в случае – главный определитель равен нулю:

$$\begin{vmatrix} -c \cdot \sin u_0 \cdot \sin v_0 & (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \cos v_0 \\ -c \cdot \sin u_0 \cdot \cos v_0 & -(a + c \cdot \cos u_0) \cdot \sin v_0 \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow c \cdot \sin u_0 \cdot \sin v_0 \cdot (a + c \cdot \cos u_0) \sin v_0 + \\ &+ c \cdot \sin u_0 \cdot \cos v_0 \cdot (a + c \cdot \cos u_0) \cdot \cos v_0 = 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow c \cdot (a + c \cdot \cos u_0) \sin u_0 = 0. \end{aligned}$$

При, $c > 0$, $a + c \cdot \cos u_0 > 0 \Rightarrow \sin u_0 = 0 \Rightarrow u_0 \in \{0; \pi\}$ полученная система (2.227), (2.229), (2.230) преобразуется в:

$$\begin{cases} (a \pm c) \cdot \dot{v}(0) \cdot \cos v_0 = 0, \\ -(a \pm c) \cdot \dot{v}(0) \cdot \cos v_0 = 0, \\ \pm c \cdot \dot{u}(0) + b \cdot \dot{v}(0) = 0. \end{cases}$$

При условии $\dot{v}(0) \neq 0$, то $\begin{cases} \cos v_0 = 0 \\ \sin v_0 = 0 \end{cases}$ это противоречие.

Тогда, $\dot{v}(0) = 0 \Rightarrow \dot{u}(0) = 0$.

Поэтому для системы (2.227), (2.228), (2.229) нет нетривиальных решений поэтому $\dot{u}(0) = \dot{v}(0) = 0$.

В результате получили что частица, находящаяся на рассматриваемой поверхности неподвижной спирали, в момент перед началом движения имеет скорость равную нулю и координаты $(x_0; y_0; z_0)$, которые удовлетворяют выражениям (2.221), (2.221), (2.229) \Leftrightarrow (2.220), (2.221), (2.225)

$$z_2 \cdot \cos \alpha \leq z_0 \leq z_1 \cdot \cos \alpha$$

$$(a - c)^2 \leq x_0^2 + y_0^2 \leq (a + c)^2$$

$$\sin \frac{z_0 \mp \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b} = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \cos \frac{z_0 \mp \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b} = \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}$$

(с определенным знаком); при этом

$$u_0 = \pm \arccos \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a}{c},$$

$$v_0 = \frac{z_0 \mp \sqrt{c^2 - (\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - a)^2}}{b}$$

(с надлежащим знаком), а $\dot{u}(0) = \dot{v}(0) = 0$.

Теоретическая производительность спирального смесителя.

Для обоснования теоретической производительности смесителя рассмотрим перемещение частицы с координатами $(x_1; y_1; z_1)$ частицы в неподвижной системы. Данные координаты связаны с координатами $(x; y; z)$ подвижной системы следующим образом:

$$x_1 = x \cdot \cos \varphi - y \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi + z \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi;$$

$$y_1 = x \cdot \sin \varphi + y \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi - z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi;$$

$$z_1 = y \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha$$

координатами $(x; y; z)$ определяются по выражениям

$$x = (a + c \cdot \cos u) \cdot \sin v$$

$$y = (a + c \cdot \cos u) \cdot \cos v$$

$$z = c \cdot \sin u + b \cdot v$$

Перемещение частицы по оси OZ_1 за время t определяется как

$$\begin{aligned} \Delta z_1(t) &= z_1(t) - z(0) = \\ &= [a + c \cdot \cos u(t)] \cdot \cos v(t) \cdot \sin \alpha + [c \cdot \sin u(t) + b \cdot v(t)] \cdot \cos \alpha - z_0 \end{aligned}$$

Тогда скорость частицы

$$\begin{aligned} v_z(t) &= \frac{d[\Delta z_1(t)]}{dt} = \dot{z}_1(t) = \{-c \cdot \sin u(t) \cdot \dot{u}(t) \cdot \cos v(t) - \\ &- [a + c \cdot \cos u(t)] \cdot \sin v(t) \cdot \dot{v}(t)\} \cdot \sin \alpha + [c \cdot \cos u(t) \cdot \dot{u}(t) + b \cdot \dot{v}] \cdot \cos \alpha. \end{aligned}$$

Решив систему уравнений (2.169, 2.170 и 2.171) имеющую начальные условия (2.183), (2.184), (2.188), численным методом определим значения $u(t)$ и $v(t)$

1) Перейдем от ранее принятого обозначения частоты вращения (ω) к количеству оборотов (n) рабочего органа

Данные показатели взаимосвязаны $\omega \cdot t = 2\pi \cdot n$, при $t = 1 \text{ мин} = 60\text{с}$, имеем $60 \cdot \omega = 2\pi \cdot n$, отсюда, $n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$, следовательно $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$.

Ранее использованную величину d , отклонение спирали относительно оси OZ_1 , принимаем равной эксцентриситета k (рис. 2.45).

На основании рисунка 2.43 представим функцию положение спирали (рис. 2.44)

Свяжем их между собой, предполагая, что спираль имеет сопряжение в точке по абсциссе $(-l)$ линейной функцией $f_1(\zeta) = \theta \cdot \zeta$, с коэффициентом θ , с параболой $f_2(\zeta) = k - \delta \cdot (\zeta + l + l_1)^2$. Точка $(-(l + l_1); k)$ с параметром δ характеризует положение вершины параболы (рис. 2.46).

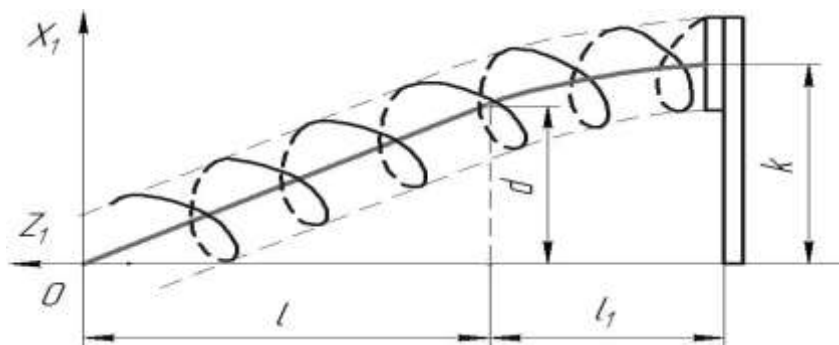


Рисунок 2.45 – Схема положения спирали в плоскости $(O, Z_1 X_1)$ неподвижной системы координат

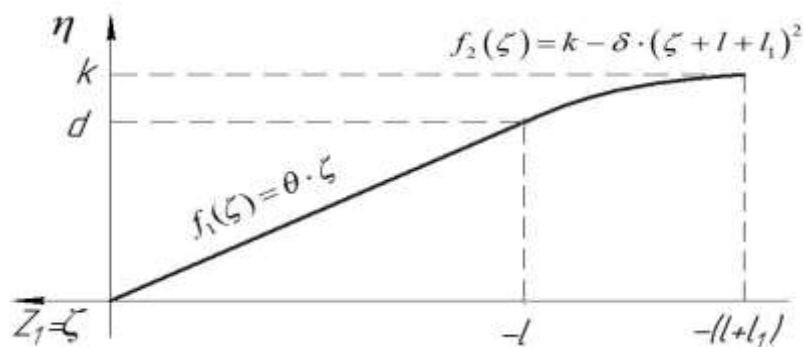


Рисунок 2.46 – Функция положения спирали

Имеем:

$$\begin{cases} f_1(-l) = f_2(-l) \\ f_1'(-l) = f_2'(-l) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \vartheta(-l) = k - \delta \cdot (-l + l + l_1)^2 \\ \vartheta = -2\delta \cdot (-l + l + l_1) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} k = \delta \cdot l_1^2 - \vartheta \cdot l; \\ \vartheta = -2\delta \cdot l_1. \end{cases}$$

преобразуя, получаем

$$k = \delta \cdot l_1^2 + 2\delta \cdot l \cdot l_1,$$

выражая δ , получим

$$\delta = \frac{k}{l_1(l_1 + 2l)} \text{ и } \theta = \frac{-2k}{l_1 + 2l}.$$

Таким образом, линейная функция примет вид

$$f_1(\zeta) = -\frac{2k}{l_1 + 2l} \cdot \zeta,$$

или, квадратичная функция

$$f_2(\zeta) = k - \frac{k}{l_1(l_1 + 2l)} \cdot (\zeta + l + l_1)^2 = k \left[1 - \frac{(\zeta + l + l_1)^2}{l_1(l_1 + 2l)} \right]$$

Из этого имеем $f_1(-l) = f_2(-l) = \frac{2k \cdot l}{l_1 + 2l}$

Ранее данная величина имела обозначение $-d$.

Таким образом, $d = \frac{2k \cdot l}{l_1 + 2l}$ и $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{l} = \frac{2k}{l_1 + 2l}$, в результате $\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{2k}{l_1 + 2l} \right)$

2) При известной длине (L) и количестве витков (m) спирали, ее шаг определяется как $s = \frac{L}{m}$

Или $s = 2\pi \cdot b$, следовательно $b = \frac{s}{2\pi} = \frac{L}{2\pi \cdot m}$.

Далее решаем полученную систему уравнения аналитическим методом, при заданных численно начальных условиях (2.183), (2.184), (2.188) и удовлетворяющих (2.177), (2.178), (2.181), (2.182):

Принимаем начальные условия.

1. Количество оборотов в минуту: $n = 100, 120, 140, \dots, 350 \text{ мин}^{-1}$, или $\omega = \frac{10\pi}{3}, \frac{12\pi}{3}, \frac{14\pi}{3}, \dots, \frac{35\pi}{3}$;

2. Шаг навивки спирали: $s = 35, 50, 65, 80, 95 \text{ мм}$, или $b = \frac{35}{2\pi}, \frac{50}{2\pi}, \frac{65}{2\pi}, \frac{80}{2\pi}, \frac{95}{2\pi}$ мм.

3. Эксцентриситет установки спирали на ведущей цапфе $k = 55, 68, 81, 94, 105 \text{ мм}$, или $d = 49,8; 61,6; 73,4; 85,2; 95,1 \text{ мм}$.

В результате решения получили выражение для определения средней скорости.

При решении численным методом получаем эмпирическую зависимость средней скорости v_{cp} перемещения частицы в спиральном смесителе от частоты вращения n , шага спирали s и эксцентриситета k . Средняя скорость частицы в смесителе определяется по эмпирической зависимости (v_{cp})

$$v_{cp} = v(n, s, k) = -5,50 + 0,0054n + 0,0833s + 0,0638k + 0,0008n \cdot s + 0,0006n \cdot k - 0,0028s^2 + 0,0032s \cdot k - 0,0021k^2 \quad (2.230)$$

где: s – шага спирали, м; n – частота вращения, c^{-1} ; k – эксцентриситет установки спирали на ведущей цапфе, м.

Анализируя полученную эмпирическую зависимость, следует отметить, что средняя скорость перемещения частицы корма в разработанном спиральном смесителе зависит от частоты вращения, шага навивки и эксцентриситета ведущей цапфы спирали.

Зная среднюю скорость частицы можно определить производительность разработанного смесителя Q (кг/ч):

$$Q = 60 S_{сеч} \cdot \gamma \cdot \varphi \cdot v_{cp},$$

где: $S_{сеч} = \frac{\pi}{4} [D_{отв}^2 - (d_{внеш}^2 - d_{внутр}^2)]$ – площадь выгрузного окна, m^2 ; γ – объемная масса приготавливаемого корма kg/m^3 ; φ – коэффициент заполнения смесителя.

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

где: D – диаметр выгрузного окна, м; $d_{внеш}$ – внешний диаметр спирали, м; $d_{внутр}$ – внутренний диаметр спирали, м.

В качестве подтверждения правдивости полученного выражения определим производительность лабораторного макета разработанного спирального смесителя.

Лабораторный макет имеет следующие размеры: $D_{отв} = 0,09$ м; $d_{внеш} = 0,065$ м и $d_{внутр} = 0,055$ м.

Площадь выгрузного окна смесителя

$$\begin{aligned} S_{сеч} &= \frac{\pi}{4} \left\{ \left(\frac{9}{100} \right)^2 - \left[\left(\frac{65}{1000} \right)^2 - \left(\frac{55}{1000} \right)^2 \right] \right\} = \\ &= \frac{\pi}{4} \left\{ \frac{81}{10000} - \frac{1200}{1000000} \right\} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{69}{10000} = \frac{54,19}{10000} = 0,005419 \end{aligned}$$

При $\varphi = 0,5$ и $\gamma = 615 \text{ кг/м}^3$

$$Q = 60 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{69 \cdot 615}{10000} \cdot v_{cp} = \frac{\pi \cdot 69 \cdot 3690}{8000} \cdot v_{cp} = 99,985 \cdot v_{cp}$$

С учетом полученного выражения средней скорости перемещения частицы (2.230)

$$Q = -549,9 + 0,54n + 8,33s + 6,38k + 0,08n \cdot s + 0,06n \cdot k - 0,28s^2 + 0,32s \cdot k - 0,21k^2 \quad (2.231)$$

Таким образом, полученное выражение позволяет определять производительность разработанного спирального смесителя.

Выводы по второй главе

1. Разработанная технология приготовления ВКК из ППКПП заключается в нейтрализации кислотности СКЭ ($W=58\%$) водным раствором гидроксидов кальция и натрия и дальнейшем смешивании его с ОКМ, ($W= 63 \dots 65\%$) в соотношении 1:6,4.

В результате теоретических исследований установлено что, для нейтрализации, снижения рН с 3,9 до 6,3, одного килограмма СКЭ влажностью 58% потребуется 0,012 кг гидроксида натрия и 0,019 кг оксида кальция.

2. Разработанная конструкция нейтрализатора СКЭ состоит из двух соосно установленных цилиндрических емкостей, которые связаны между собой и насосом трубопроводом. Внешняя емкость предназначена для СКЭ, а внутренняя с осевой мешалкой – для приготовления раствора реагентов. Конструкция нейтрализатора позволит использовать теплоту, образованную в результате химических реакций приготовления раствора реагентов, для нагревания СКЭ.

3. Разработанная конструкция шнеко-лопастного смесителя состоит из цилиндрического корпуса снабженного камерой СКЭ с мембраной, загрузной и выгрузной горловин, рабочего органа, который представляет собой шнековую навивку и полые лопасти, закрепленные на трубе. При этом полости лопастей через трубу сообщены с камерой СКЭ. Рабочий орган установлен на опорах, обеспечивающих вращательное движение и возвратно-поступательное, закрепленных на торцевой стенке корпуса смесителя и мембране.

4. Разработанная конструкция спирального смесителя состоит из конусообразного корпуса с загрузной и выгрузной горловин, цилиндрической спирали, ведущей и ведомой цапф с подшипниковыми опорами, водила. На

ведущей цапфе спираль установлена на водило неподвижно, относительно своей оси, а на ведомой – с возможностью вращения. При вращении рабочая часть спирали описывает конус. Производительность смесителя регулируется изменением шага спирали за счет осевого перемещения ведомой цапфы.

5. В результате теоретических исследований процесса нагревания в нейтрализаторе получено выражение (2.48) для определения температуры в заданной точке в зависимости от толщины стенки его внутреннего цилиндра, времени нагревания и теплофизических свойств СКЭ.

6. Теоретически установлена математическая зависимость средней скорости движения корма в шнеко-лопастном смесителе от его геометрических размеров, амплитуды колебаний и частоты вращения рабочего органа. Доказана теоретическая зависимость производительности устройства подачи СКЭ от ее геометрических размеров, частоты вращения и амплитуды колебаний рабочего органа.

7. Теоретически установлено, что средняя скорость движения массы в спиральном смесителе зависит от величины эксцентриситета, частоты вращения и шага спирали. Производительность спирального смесителя зависит от его геометрических параметров, средней скорости движения и физико-механических свойств СКК.

Глава 3. ПРОГРАММЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований физико-механических и теплофизических свойств ППКПП

Разработанная технология приготовления ВКК из ППКПП предусматривает смешивание ОКМ и СКЭ с предварительной нейтрализацией его кислотности, в пропорции 6,4:1. Для осуществления данной технологии необходимо разработать соответствующие технические средства. Для обоснования технологических и конструктивных параметров нейтрализатора кислотности и смесителей необходимо исследовать физико-механические свойства ОКМ и СКЭ. При определении параметров нейтрализатора кислотности необходимы знания теплофизических свойств СКЭ. Поэтому программа исследований включает в определение следующих зависимостей:

- кинематической и динамической вязкости СКЭ от температуры;
- липкости СКЭ от температуры;
- угла естественного откоса и объёмной массы СКК, дробленого кукурузного зерна и жмыха;
- влажности на статический и динамический коэффициенты трения СКК, дробленого кукурузного зерна и жмыха по стали;
- коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и теплоёмкости СКЭ и СКК от содержания сухих веществ.

В данной работе исследованы физико-механические и теплофизические свойства ППКПП: ОКМ, СКЭ, СКК, дробленого кукурузного зерна и жмыха (далее по тексту – материала).

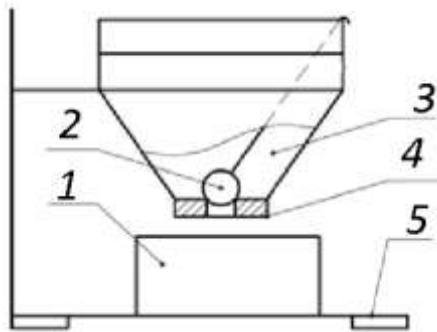
3.2 Методики исследования физико-механических и теплофизических свойств ППКПП

Исследуемыми материалами являлись ППКПП предприятия ОАО «Ибретькрахмалпатока», расположенного в Шиловском районе Рязанской области, в том числе СКЗ, ВКК, СКК, ОКМ, дробленое зерно и жмых.

При выполнении исследований физико-механических и теплофизических свойств ППКПП эксперименты имели пятикратную повторяемость.

3.2.1 Определение вязкости СКЭ

Показатели вязкости СКЭ определяли по ГОСТ 9070 – 75. Кинематическую вязкость определяли вискозиметром ВЗ – 246 с калиброванным соплом путем измерения времени истечения установленного объема СКЭ (рис.3.1 и 3.2).



1 – емкость для СКЭ; 2 – шарик сопла; 3 – емкость вискозиметра; 4 – сопло; 5 – штатив.

Рисунок 3.1– Схема вискозиметра.

Последовательность выполнения исследований. При закрытом сопле вискозиметра заполняли емкость вискозиметра с избытком, который впоследствии, удаляли стеклянной пластиной. Вискозиметр помещали в нагревательный шкаф и выдерживали двадцать минут при заданной температуре. Затем удаляли запирающий шарик и с использованием электросекундомера СЭД-1М определяли время истечения СКЭ. Опыт проводили с пятикратной повторностью.

Кинематическую вязкость СКЭ определяли по выражению:

$$\nu = c \cdot \tau_{cp}, \text{ мм}^2/\text{с}^2 \quad (3.1)$$

где: c – постоянная величина получаемая при калибровке вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

τ_{cp} – среднее время истечения СКЭ, с.

$$\tau_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \text{ с} \quad (3.2)$$

где n – количество повторность эксперимента, $n = 5$.

Значение величину (c) вискозиметра рассчитывали по выражению.

$$c = \frac{\nu}{\tau_{cp}}, \text{ мм}^2/\text{с}^3 \quad (3.3)$$

В качестве жидкости для определения показателя (c) использовали воду ($\nu = 100,19 \text{ мм}^2/\text{с}^2$ при $t = 20^\circ\text{C}$). Получили величину $c = 8,56 \text{ мм}^2/\text{с}^3$.



1 – вискозиметр ВЗ – 246; 2 – нагревательный шкаф; 3 – электросекундомер СЭД-1М.

Рисунок 3.2 – Лабораторная установка определения вязкости СКЭ.

Динамическая вязкость СКЭ определялась по выражению:

$$\eta = \nu \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \text{ МПа}\cdot\text{с} \quad (3.4)$$

где: ρ – плотность СКЭ при заданной температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Показатели плотности СКЭ определяли ареометром.

Исследования кинематической и динамической вязкости СКЭ с влажностью 58% проводили при изменении температуры с 20 до 90⁰С.

3.2.2 Определение влияния температуры на липкость СКЭ

Липкость СКЭ определялась по методике разработанной Н.А. Качинским. Используемый прибор для определения влажности представляет собой чашечные весы, одна чаша которых это стальной диск с отшлифованной поверхностью. На вторую чашу устанавливается колба для воды. Чаши прибора уравновешены.

Лабораторная установка состоит из емкости для СКЭ 1, диска 2 с отшлифованной нижней поверхностью, емкости для воды 3 снабженная краном 4 и колбы 5 (рис. 3.3). Общий вид установки показан на рисунке 3.4

Порядок проведения эксперимента следующий. Помещали 100 грамм СКЭ в емкость 1 и нагревали до заданной температуры в диапазоне от 10 до 100⁰С. Устанавливали емкость 1 на лабораторную установку и перемещали диск 2 до соприкосновения с поверхностью СКЭ. Затем из емкости 3 путем открытия крана 4 заполняли колбу 5 водой. При отрыве диска 2 от поверхности СКЭ кран 4 закрывали. Массу воды из колбы 5 определяли на весах ВЛТК – 500 6 (фото

рис.3.3).

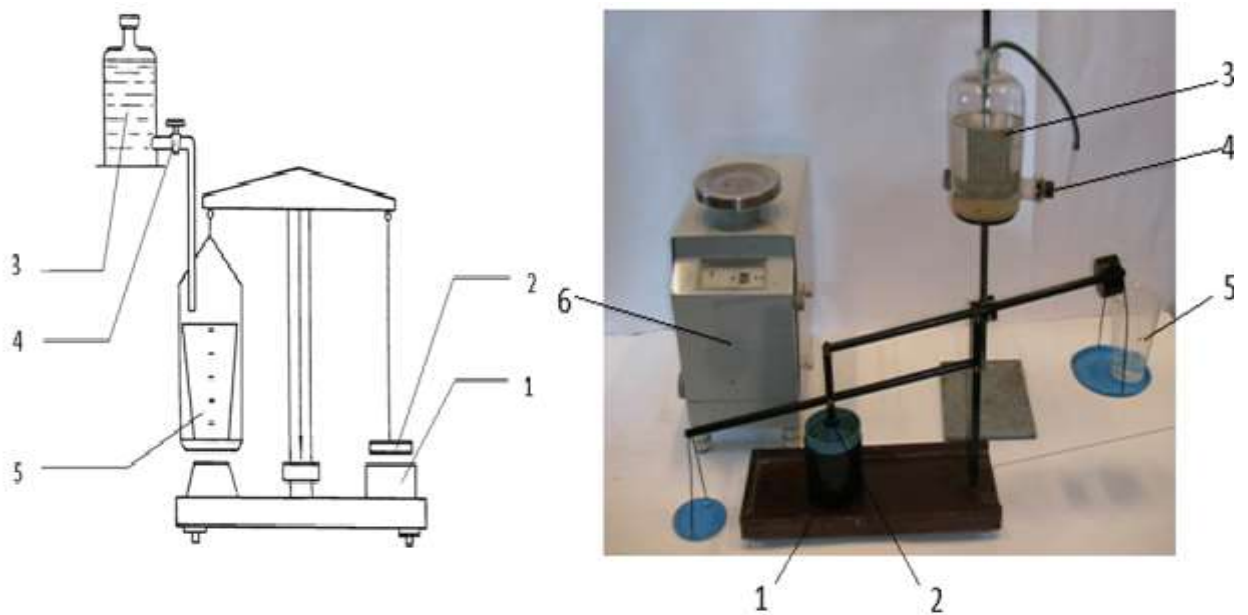


Рисунок 3.3 Схема и общий вид (фото) установки определения липкости СКЭ.

Численные значения липкости СКЭ определяли по формуле:

$$l_n = \frac{P}{F}; \quad (3.5)$$

где: P – усилие отрыва диска, Н; F – площадь диска, м².

Среднеарифметическое значение липкости СКЭ

$$l_n = \frac{\sum_{i=1}^n l_{ni}}{n}; \quad (3.6)$$

где l_i - значение липкости СКЭ при i измерении при, Н/м²;

n – количество измерений.

3.2.3 Определение влияния влажности на объемную массу ППКПП

Объемная масса ППКПП зависит от физико-механических свойств исходного сырья, степени их измельчения и влажности. Для долгосрочного хранения ППКПП необходимо поддерживать их влажность не выше 14% [1].

Определение влажности (W , %) ППКПП проводили в соответствии методикой ГОСТ 13496.3 – 80 с дальнейшим расчетом численных показателей по формуле

$$W = \frac{M_H - M_K}{M_H} \cdot 100 \quad (3.7)$$

где M_H, M_K – соответственно массы навески материала до и после сушки, г.

Массу навески определяли на весах ВЛТК – 500. Опыты проводили с пятикратной повторностью

Объемная масса ППКПП (γ , кг/м³) в соответствии с методикой ГОСТ 7861-74 с использованием прибора ПХ – 1 (рис. 3.4)



1 – ПХ-1 (пурка литровая), 2, 3, 4 – ППКПП, измельченное зерно кукурузы, смесь ОКМ и СКЭ, жмых кукурузный соответственно.

Рисунок 3.4 – Пурка литровая (ПХ – 1) и исследуемые продукты .

3.2.4 Определение влияния влажности на угол естественного откоса ППКПП

Исследования зависимости угла естественного откоса ППКПП от его влажности проводили согласно методике ГОСТ 28254-89 на установке, схема и общий вид которой представлена на рисунке 3.5.

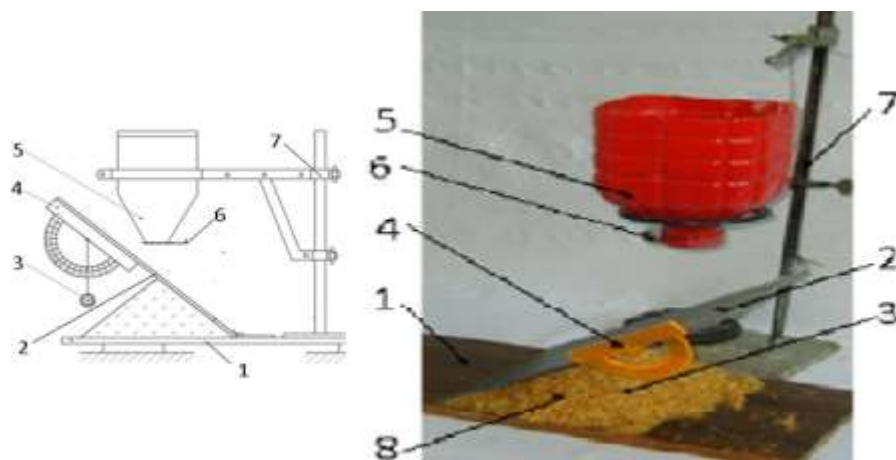


Рисунок 3.5 – Схема и общий вид (фото) установки определения угла естественного откоса ППКПП.

Установка состоит из основания 1 с закрепленной на ней наклонной пластины 2 с отвесом 3 и угловым сектором 4, над которой установлен бункер 5 с заслонкой 6 на штативе 7.

Последовательность проведения исследований следующая. Первоначально устанавливали основание 1 в горизонтальной плоскости (рис. 3.5 фото). Бункер 5 наполняли исследуемым ППКПП. Открывали заслонку 6, продукт вытекал из бункера 5 на основание 1 с образованием конуса 8. Затем наклонную пластину 2 подводили к образовавшемуся конусу и с помощью градуированного углового сектора 4 и отвеса 3 определяли угол естественного откоса продукта.

3.2.5 Определение влияния влажности на коэффициенты трения ППКПП по стали

Исследования влияния влажности на статистический коэффициент трения ППКПП проводили на установке, общий вид которой показан на рисунке 3.6. В качестве наклонной пластины 2 устанавливали лист из исследуемых материалов. В качестве исследуемых материалов использовали стали марки Ст 2 ГОСТ 380-94 и 08X13 ГОСТ 5632-72, как наиболее применяемые на подобных производствах.

Статический коэффициент трения ППКПП определяли по известному выражению

$$f_{TCT} = \operatorname{tg} \alpha_{TCT} \quad (3.9)$$

где α_{TCT} – угол установки наклонной пластины 2 обеспечивающий перемещение по ней исследуемого продукта (рис 3.6).

Последовательность проведения исследований. Устанавливали наклонную пластину 2 (Ст 2 ГОСТ 380-94 или 08X13 ГОСТ) в горизонтальное положение и размещали на ней исследуемый продукт толщиной слоя 20...25. Затем увеличивая угол наклона пластины 2, при начальном движении продукта фиксировали угол наклона (α_{TCT}) и измеряли его с помощью углового сектора и отвеса 3. Таким образом определив угол (α_{TCT}) рассчитывали значение коэффициента трения f_{TCT} формуле (3.9).

Динамический угол трения ППКПП по исследуемым материалам определяли на аналогичной установке (рис. 3.7). В качестве исследуемых материалов использовали стали марки Ст 2 ГОСТ 380 - 74 и 08Х13 ГОСТ 5632-72.

Последовательность выполнения исследований. Бункер 5 заполняли исследуемым ППКПП. Открывали заслонку 6, продукт высыпался на наклонную пластину 2, при этом медленно уменьшали ее угол наклона. При прекращении движения продукта по наклонной пластине 2 фиксировали угол динамического трения.

Для определения коэффициента динамического трения ($f_{ТД}$) использовали известное выражение:



Рисунок 3.6 –Установки для исследования влияния влажности на статический коэффициент трения ППКПП.

$$f_{ТД} = \operatorname{tg} \beta_{ТД} \quad (3.10)$$

где $\beta_{ТД}$ – значение угла установки верхней пластины.

3.2.6 Исследование влияния влажности на теплофизические свойства ППКПП

Знание численных значений теплофизических свойств ППКПП и их зависимости от содержания влаги необходимы для обоснования конструктивно-режимных параметров технических средств приготовления СКК. Поэтому нами выполнены исследования по изучению теплофизических свойств СКЭ и СКК.

Исследования теплофизических свойств СКЭ и СКК проводились по методике разработанной А. Ф. Чудновским. Методика, оборудование и приборы для определения теплофизических свойств СКЭ и СКК, подробно изложены в работах

А. А. Полункина и М. А. Конькова, с которыми совместно были выполнены данные исследования [204, 187].

Лабораторная установка (рис. 3.7) для исследования теплофизических свойств СКЭ и ВКК состоит из мультиметра (DT-9205A) 1, ванны 2, температурного датчика (ДТ-1) 3, штока 4, зонда 5 с датчиком температуры (ДТ-2) 6, в мультиметра (B7-38) 7 и контактной группы 8 электрического секундомера 9.

Ванна 2 изготовлена из теплоизолированного материала и имеет соотношение размеров длины к ширине – 5:1. Размер зонда 5 60×30 мм и изготовлен из алюминиевого листа толщиной 1,5 мм. Роль температурных датчиков выполняли микротерморезисторы МТ-54М.

Расстояния между температурными датчиками (ДТ-1) 3 и (ДТ-2) 6 было установлено опытным путем. Для этого использовали эталонный материал – очищенный речной песок с размерами частиц $0,5 \dots 2,0 \times 10^{-2}$, теплофизические свойства которого известны. Изменяя расстояние между датчиками, фиксировали максимальную температуру нагрева (ДТ-2). Затем проводили расчеты теплофизических показателей и сравнивали их с эталонными значениями. В результате было установлено расстояние между температурными датчиками равно $1,5 \times 10^{-2}$ м, при этом время проведения опыта в среднем составило 0,4 часа.

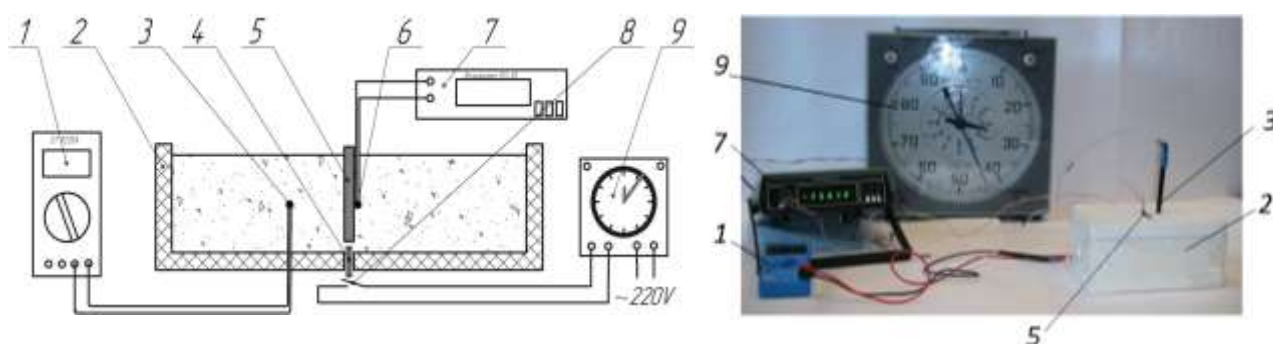


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема и общий вид (фото) установки для исследований теплофизических свойств ППКПП.

Порядок выполнения исследований. Ванну 1 заполняли исследуемым продуктом. Зонд 5 нагревали и выдерживали при заданной температуре пять минут затем вставляли его в ванну с продуктом, при этом происходило включение электрического секундомера 9 и начинался отсчет времени. При этом фиксировали

показатели температуры датчиков (ДТ-2) 6 и (ДТ-1) 3 соответственно мультиметрами (В7-38) 7 и (ДТ-9205А) 1. Опыт прекращали при достижении продуктом максимальной температуры.

В ходе исследований были определены следующие показатели:

- T_C^{\max} – максимальное значение температуры исследуемого продукта, °С;
- T_3^{\max} – температура нагретого зонда при погружении в исследуемый продукт °С;
- τ_u – время цикла (интервал времени с начала погружения зонда до достижения им максимально возможной температуры) с;
- T_3^{\min} – температура зонда при максимальной температуре продукта, °С.

В дальнейшем определение численных значений теплоемкости (c), коэффициентов температуропроводности (a), и теплопроводности (λ) выполняли с учетом начальной температуры исследуемого продукта – T_C , °С.

Коэффициент температуропроводности продукта (a , мм²/с)

$$\dot{a} = \frac{l^2}{2\tau_{\delta}}, \text{ мм}^2/\text{с}. \quad (3.11)$$

Удельная теплоемкость продукта (c , Дж/(кг · °С))

$$c = \ln Q - \frac{1}{2} \ln q - \frac{1}{2} \ln \tau_{\delta} - \ln \Delta T - \frac{x^2}{4a\tau_{\delta}} - A, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{°С}). \quad (3.12)$$

где: Q – передаваемое количество теплоты исследуемому продукту зондом, Дж;

ΔT – величина изменения температуры зонда в начале и конце опыта, °С;

A – постоянная величина, характеризующая параметрами зонда зонда;

q – ускорение свободного падения, м/с².

$$Q = m_n c_n (T_3^{\max} - T_3^{\min}), \text{ кДж} \quad (3.13)$$

где: m_n – масса погружаемого зонда, кг;

c_n – теплоемкость зонда, Дж/(кг · °С);

$$A = \ln 2 + \ln S + \frac{1}{2} \ln \pi, \quad (3.14)$$

где S – площадь зонда, м².

Коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м · К) исследуемого продукта

$$\lambda = c \cdot a \cdot \rho, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (3.15)$$

где ρ – плотность исследуемого продукта, кг/м³.

3.3 Программа исследований технологического процесса нейтрализатора СКЭ

Нейтрализация органических кислот СКЭ осуществляется за счет их взаимодействия с гидроксидами кальция и натрия. При этом предварительно следует нагревать СКЭ, что позволит, снизить его вязкость и сократить время нейтрализации и избежать местного перегрева с образованием спекшихся комков.

Предлагаемая конструкция нейтрализатора позволяет использовать теплоту, выделяемую при приготовлении водного раствора реагентов для нагрева СКЭ.

Применяемые в настоящее время технологии крахмалопаточного производства получают СКЭ путем его сгущения и дальнейшего накопления в емкостях. В конечном виде СКЭ имеет влажность $W = 56 \dots 60\%$ и температуру $T = 30 \dots 35^\circ\text{C}$.

Для проведения исследований использовали СКЭ производства ОАО «Ибретькрахмалпатока» с содержанием влаги $W = 58\%$ при начальной температуре $T_{нач} = 30^\circ\text{C}$.

Процессы нагревания и нейтрализации СКЭ зависят от его теплофизических и физико-механических свойств. При этом на данные процессы оказывают существенное влияние технологические и конструктивные параметры нейтрализатора. В результате теоретических исследований данных процессов не возможно аналитическими методами определить рациональные параметры нейтрализатора кислотности СКЭ. Поэтому необходимо исследовать процессы нагревания и нейтрализации СКЭ экспериментально.

Исходя из предложенной конструкции нейтрализатора и выполненных выше, теоретических исследований на интенсивность протекания рассматриваемых процессов влияют следующие параметры: толщина стенки внутреннего цилиндра, частота вращения мешалки, обеспечивающая движения раствора реагентов во внутреннем цилиндре, подача насоса СКЭ.

На основании выше сказанного задача экспериментальных исследований – определение влияния выявленных факторов на процессы нагревания и нейтрализации СКЭ.

Программа исследований включает:

- определение времени и температуры нагревания СКЭ теплотой образуемой при приготовлении раствора реагентов;
- определение времени нейтрализации СКЭ;
- определение зависимости подачи насоса СКЭ на время его нагревания;
- определения зависимости подачи насоса СКЭ на время нейтрализации;
- определения зависимости процесса нейтрализации от толщины стенки внутреннего цилиндра, частоты вращения мешалки, подачи насоса СКЭ, и затрачиваемой мощности.

3.3.1 Лабораторная установка для исследования технологического процесса нейтрализатора СКЭ

Для выполнения программы экспериментальных исследований был изготовлен макет нейтрализатора СКЭ. Во второй главе данной работы представлен конструктивно-технологическое описание нейтрализатора СКЭ. На рисунке 3.8 представлен общий вид макета нейтрализатора СКЭ.

Макет нейтрализатора СКЭ состоит из рамы 1, теплообменника 2, электродвигателя с мешалкой 3, насоса-смесителя 4, кранов запорной арматуры 5, 6, 7, 8 и трубопровода 9.

Теплообменный аппарат макета (рис.3.9) изготовлен из нержавеющей стали. Он состоит из внутреннего 1 и внешнего 2 цилиндров, которые установлены соосно с образованием двух камер внутренней и межстенной. Таким образом, камеры имеют общую цилиндрическую поверхность. Внутренняя камера предназначена для приготовления раствора реагентов, межстенная для СКЭ. Теплообменный аппарат снабжен патрубками, расположенными в днище 3 и 4 соединенными соответственно с внутренней и камерами. В верхней части теплообменный аппарат снабжен патрубком 5 соединенным с межстенной камерой. Наружная поверхность теплообменного аппарата теплоизолирована 6. Конструкцией теплообменного аппарата предусмотрена возможность замены внутреннего цилиндра толщиной стенки: 0,001, 0,0015 и 0,002 м (рис. 3.10). Насос 4 макета нейтрализатора (3.8) предназначен для циркуляции СКЭ и его смешивания с раствором реагентов.

Исследования процессов нагревания, смешивания и нейтрализации кислотности СКЭ проводили на изготовленной, на основании макета нейтраллизатора лабораторной установке, функциональная схема и общий вид которой представлена на рисунке 3.11.



Рисунок 3.8 – Макет нейтраллизатора макета СКЭ.

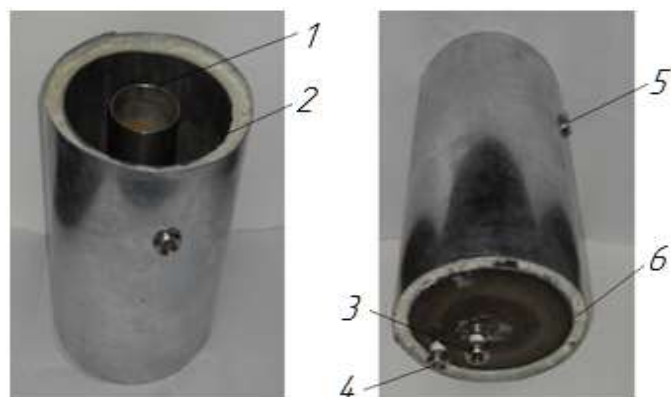


Рисунок 3.9 – Теплообменный аппарат.



1, 2, 3 – внутренние цилиндры 0,001; 0,0015 и 0,0020 мм соответственно.

Рисунок 3.10 – Внутренние цилиндры нейтраллизатора.

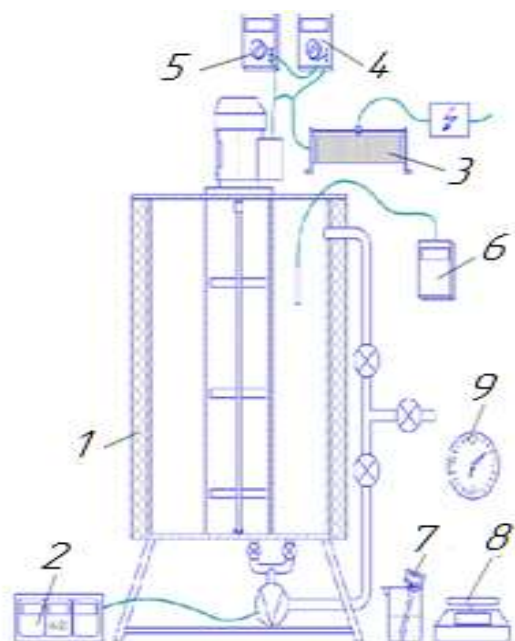


Рисунок 3.11 – Функциональная схема и общий вид (фото) лабораторной установки исследования процессов нагревания и нейтрализации СКЭ.

Назначение приборов контроля: потребление энергии электродвигателя мешалки, внутренней камеры нейтрализатора СКЭ, насоса-смесителя – амперметр 4 и ваттметр 5 (рис. 3.8) и электроизмерительный прибор К-50 2 соответственно, температура – электрический термометр М-838 6, кислотность СКЭ – рН-метр HANNA HI98103 Checker 1, время – секундомер СОСпр-2б-2-0009 (рис.3.11). Массу СКЭ и реагентов определяли на весах ВСП –0,5-1.

3.3.2 Методики однофакторных экспериментов процессов нагревания и нейтрализации СКЭ

Последовательность выполнения исследований. Межстенную камеру макета нейтрализатора заполняли на 75% СКЭ, Во внутренней камере готовили водный раствор реагентов. На один килограмм СКЭ использовали 19 гр оксида кальция и 12 гр гидроксида натрия. При исследовании процесса нагревания СКЭ определяли время и температуру нагревания. Исследование процесса нейтрализации кислотности СКЭ заключалось в определении времени, температуры и рН СКЭ. Изменение факторов проводили следующим образом: толщину стенки внутреннего цилиндра путем его замены (рис. 3.10), изменение частоты у вращения мешалки – реостатом 3 (рис. 3.8), подачу насоса-смесителя при циркуляции СКЭ – краном 7 (рис. 3.12), предварительно его протарировали и установили шкалу рычага управления.

В данных исследованиях использовали СКЭ влажностью 56...60% и начальной температурой 28...32°С, производства ОАО «Ибренькрахмалпатока».

При выполнении данных исследований эксперименты имели пятикратную повторяемость.

Методика определения зависимости времени нагревания СКЭ от толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора.

Теоретическими исследованиями доказано, что на процесс нагревания СКЭ за счет теплоты от химических реакций приготовления раствора реагентов оказывает большое влияние толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора. От толщины стенки зависят время и температура нагревания СКЭ. Стоит учитывать, что параллельно с нагреванием происходит охлаждение СКЭ, поэтому в данном

случае следует стремиться к минимальной толщине стенки внутреннего цилиндра. С другой стороны толщина стенки внутреннего цилиндра должна обеспечивать его прочность, в данной конструкции стоит учитывать, что плотности раствора реагентов и СКЭ существенно отличаются.

В настоящее время в ряде работ даны обоснования и конкретные рекомендации толщины стенки подобных конструкций теплообменных аппаратов 0,4...0,6 мм [20, 27, 135]. Для обоснования толщины стенки, внутреннего цилиндра лабораторного макета нейтрализатора, нами был проведен инженерный расчет. На основании, которого минимальная толщина стенки, обеспечивающая прочность конструкции нейтрализатора СКЭ должна быть не менее 1мм. При проведении исследований данный фактор был принят от 0,001 до 0,002 м с шагом 0,0005 м. Как описано выше было изготовлено три сменных внутренних цилиндра с толщиной стенки 0,001, 0,0015 и 0,002 м, которыми обеспечили диапазон варьирования данного фактора.

При исследовании процесса определяли время и температуру нагревания СКЭ при различной толщине стенки внутреннего цилиндра.

Показатели времени и температуры вели от момента подачи реагентов во внутреннюю камеру нейтрализатора.

При выполнении исследований осуществляли пятикратную повторяемость опытов.

Методика определения зависимости времени нагревания СКЭ от подачи насоса.

Насос-смеситель 4 (рис. 3.8) обеспечивает циркуляцию СКЭ при нагревании и смешивание его с раствором реагентов. Подача насоса-смесителя влияет на процесс нагревания СКЭ, так как позволяет обеспечивать его циркуляцию по замкнутому кругу.

Исходя из того что насос-смеситель выполняет две функции циркуляцию СКЭ и его смешивание с раствором реагентов, при теоретическом обосновании подачу насоса-смесителя определяли при условии минимального времени смешивания. То есть водный раствор реагентов должен быть смешан с СКЭ при его минимальной вязкости, которая достигается при температуре 49...50°C. В результате установлено, что подача насоса должна быть $8,3 \times 10^{-6}$ м³/с. В результате диапазон

варьирования фактора – подача насоса-смесителя составил $6,3 \times 10^{-6} \dots 10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, шагом его изменения – $2,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Последовательность выполнения исследований. Межстенную камеру макета нейтрализатора заполняли СКЭ. Во внутренней камере приготавливали раствор реагентов. Установив необходимую подачу насоса-смесителя фиксировали температуру СКЭ с периодичностью 120 с. Также определяли максимальную температуру нагревания экстракта. Подачу насоса-смесителя при циркуляции СКЭ устанавливали при помощи крана 7 (рис. 3.8), предварительно его протарировали и установили шкалу рычага управления.

Расход энергии определяли электроизмерительным прибором (К-50). Полезный расход энергии (N) насоса-смесителя вычисляли, предварительно определив ее затраты на холостом ходу ($N_{х.х.}$) по формуле

$$N_{пол} = N - N_{х.х.}, \text{ Вт} \times \text{с} \quad (3.16)$$

Удельный расход энергии определяли по выражению

$$N = \frac{N_{пол}}{Q_m}, \text{ Вт} / \text{кг} \quad (3.17)$$

где Q_m – производительность машины, кг/с

Методика лабораторных исследований процесса нейтрализации кислотности СКЭ.

При приготовлении раствора реагентов и смешивании его с СКЭ в нейтрализаторе происходят экзотермические химические реакции. За счет выделяемой тепловой энергии осуществляется нагрев СКЭ. Первоначально СКЭ нагревается за счет теплоты выделяемой при приготовлении раствора реагентов и дополнительно при его смешивании с СКЭ.

В результате данных исследований была установлена зависимость изменения кислотности (рН) и температуры СКЭ при его смешивании с раствором реагентов в зависимости от интенсивности подачи насоса нейтрализатора.

Для выполнения данных исследований использовали лабораторную установку (рис. 3.11), при этом использовали внутренний цилиндр макета нейтрализатора с толщиной стенки 1 мм.

При выполнении исследований внешний цилиндр макета нейтрализатора заполняли СКЭ. После этого во внутреннем цилиндре готовили раствор реагентов. Окончание нагревания СКЭ определяли стабилизацией его температуры. Далее смешивали раствор реагентов с СКЭ, установив при этом необходимую подачу насоса макета нейтрализатора, диапазон изменения которой составлял от $6,3 \times 10^{-6}$ до $10,3 \times 10^{-6}$ м³/с.

Для определения значений температуры СКЭ применяли термометры М-838, при этом их датчики разместили во внешнем цилиндре нейтрализатора, на верхнем среднем и нижнем уровнях. При исследовании фиксировали показания каждого термометра и вычисляли среднюю температуру.

Кислотность СКЭ определяли рН-метром, при этом отбирали несколько проб СКЭ из всего объема внешнего цилиндра нейтрализатора, затем определяли среднее значение.

Замеры температуры и рН СКЭ проводили через каждые две минуты, отсчёт времени вели с начала смешивания водного раствора реагентов и СКЭ.

3.3.3 Методика многофакторного эксперимента процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе

В результате анализа априорной информации и проведенных исследований, однофакторных экспериментов, были установлены наиболее значимые факторы и диапазоны их варьирования, влияющие на работу нейтрализатора кислотности СКЭ.

Толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора оказывает значительное влияние на время и температуру нагревания СКЭ. Анализ подобных конструкций и научных исследований по данному вопросу показал, что данный показатель следует принимать в диапазоне от 0,0004 до 0,0006 м. При рекомендованных показателях достигается максимальная температура нагревания при минимальном времени. В нашем случае учитывая массу и плотность СКЭ загружаемого в нейтрализатор, основываясь на инженерных расчетах, был принят диапазон изменения фактора – толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора (δ) от 0,001 до 0,002 м, с шагом 0,0005 м.

Насос нейтрализатора обеспечивает циркуляцию СКЭ экстракта при нагревании и смешивание его с раствором реагентов. Таким образом подача насоса

нейтрализатора является значимым фактором. В результате однофакторных экспериментов нами установлено время нагревания СКЭ, которое находится в диапазоне от 1800 до 2400 с. При этом установлено, что максимальная температура, после нагревания сохраняется в течение 1200...1800 с. Поэтому учитывая, что подачу водного раствора в СКЭ следует осуществлять при минимальном значении его вязкости, смешивание следует проводить в течении 1200...1800 с. На этом основании и учитывая рекомендованную кратность смешивания, для подобных конструкций смесителей, был определен диапазон изменения фактора - подача насоса нейтрализатора (Q) от $6,3 \times 10^{-6}$ до $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ с шагом $2,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Лопастная мешалка нейтрализатора обеспечивает приготовление водного раствора реагентов и его движение при нагревании СКЭ. Подобные конструкции химических реакторов достаточно широко применяются и глубоко изучены. Таким образом, для данной конструкции применима лопастная мешалка с частотой вращения от 1,0 до 9,0 с^{-1} [17, 23, 107]. Для исследования принимаем данный диапазон изменения фактора с шагом 4,0 с^{-1} .

В качестве критериев оптимизации принимаем время нагревания СКЭ (t) и удельный расход энергии нейтрализатора (N).

Удельный расход энергии определяли электроизмерительным прибором (К 50) и последующим расчетом, с использованием выражений (3.16) и (3.17).

Для определения влияния изложенных факторов на время нагревания СКЭ и удельный расход энергии, достаточно полинома второго порядка

$$y = b_0 + \sum_1^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.18)$$

где: y – среднее значение отклика; x_i, x_j – независимые переменные; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты уравнения регрессии; k – число независимых переменных.

Для определения математической модели по определению времени нагревания СКЭ и удельного расхода энергии использовали план Бокса-Бенкина, трехуровневый.

При исследовании повтор опытов осуществлялся трехкратно.

Результаты опытов приведены в приложении В.

Для осуществления многофакторного эксперимента принимаем матрицу, представленную в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Матрица эксперимента для исследования процесса нагревания СКЭ.

Уровни и интервалы варьирования	Толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора (δ), мм	Подача насоса нейтрализатора (Q), $\times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	Частота вращения лопастной мешалки (n), с^{-1}	Критерии оптимизации	
				Время нагревания СКЭ, (t), час	Удельный расход энергии (N), кВт/т
Верхний уровень (+)	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
	2,0	10,3	9	-	-
Основной уровень (0)	1,5	8,3	5	-	-
Нижний уровень (-)	1,0	6,3	1	-	-
Интервал варьирования	0,5	2,0	4	-	-

3.4 Программа исследований процесса смешивания ОКМ и СКЭ

Разработанный способ приготовления кормов из ППКПП заключается в смешивании ОКМ с предварительно нейтрализацией СКЭ до pH 6,0...6.3, при соотношении 6,4:1, соответственно [201]. Смешивание ОКМ и СКЭ является сложным технологическим процессом, из-за структуры и физико-механических свойств данных компонентов. На основании выше изложенного, для приготовления кормов из ППКПП нами была разработана оригинальная конструкция шнеко-лопастного смесителя.

Исследование процесса смешивания ОКМ и СКЭ и обоснование конструктивно технологических параметров разработанного смесителя является сложной задачей. Поэтому для решения данной задачи необходимо провести экспериментальные исследования.

В соответствии с выше изложенной задачей программа экспериментальных исследований предусматривает определения влияния:

– частоты вращения рабочего органа на производительность шнеко-лопастного смесителя;

- массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа на амплитуду его перемещения;
- частоты вращения рабочего органа и диаметра отверстий лопастей на производительности подающего устройства СКЭ.
- амплитуды колебаний и частоты вращения рабочего органа, диаметра отверстий лопастей на удельный расход энергии и однородности смеси.

3.4.1 Лабораторная установка для исследования процесса смешивания ОКМ и СКЭ

Для выполнения изложенной выше программы исследований процесса смешивания ОКМ и СКЭ, на основе разработанной конструкции, патент РФ 2454273, был изготовлен лабораторный макет шнеко-лопастного смесителя [123].

Геометрические размеры макета шнеко-лопастного смесителя были определены на основании технологических параметров и заданной производительности в диапазоне 1,30... 1,42 кг/с.

Общий вид макета шнеко-лопастного смесителя и его устройство показан на рисунках (3.12 – 3.17).

Конструкция макета шнеко-лопастного смесителя следующая. Цилиндрический корпус 1, установлен на раме 2 и имеет рабочий орган 3, на который передается крутящий момент от мотор-редуктора 4 по средствам цепной передачи. На загрузочную горловину 5 смонтирован бункер ОКМ 6. С торцов корпус смесителя 1 снабжен мембранным насосом СКЭ 7, соединенный шлангом 8 с ёмкостью 9 и возвратным устройством 11 рабочего органа, установленными соответственно в районе горловины 5 и выгрузного окна 10.

Конструкция рабочего органа смесителя показана на рисунке 3.13. На трубе 1 последовательно установлены винтовая навивка 2 и полые лопасти 3. Труба 1 имеет цапфы, ведущую 4 и ведомую 5. Полости лопастей 3 трубы 1 и ведомой цапфы 4 сообщены между собой. Ведомая цапфа 5 установлена в подшипниковой опоре 6, которая имеет мембрану 7 зажатой по периферии в корпусе устройства подачи СКЭ 7 (рис 3.12). Данная конструкция шнеко-лопастного смесителя обеспечивает вращательное и обратно поступательное движение рабочего органа относительно

своей оси. Возвратно-поступательное перемещение приводит в работу подающее устройство СКЭ.

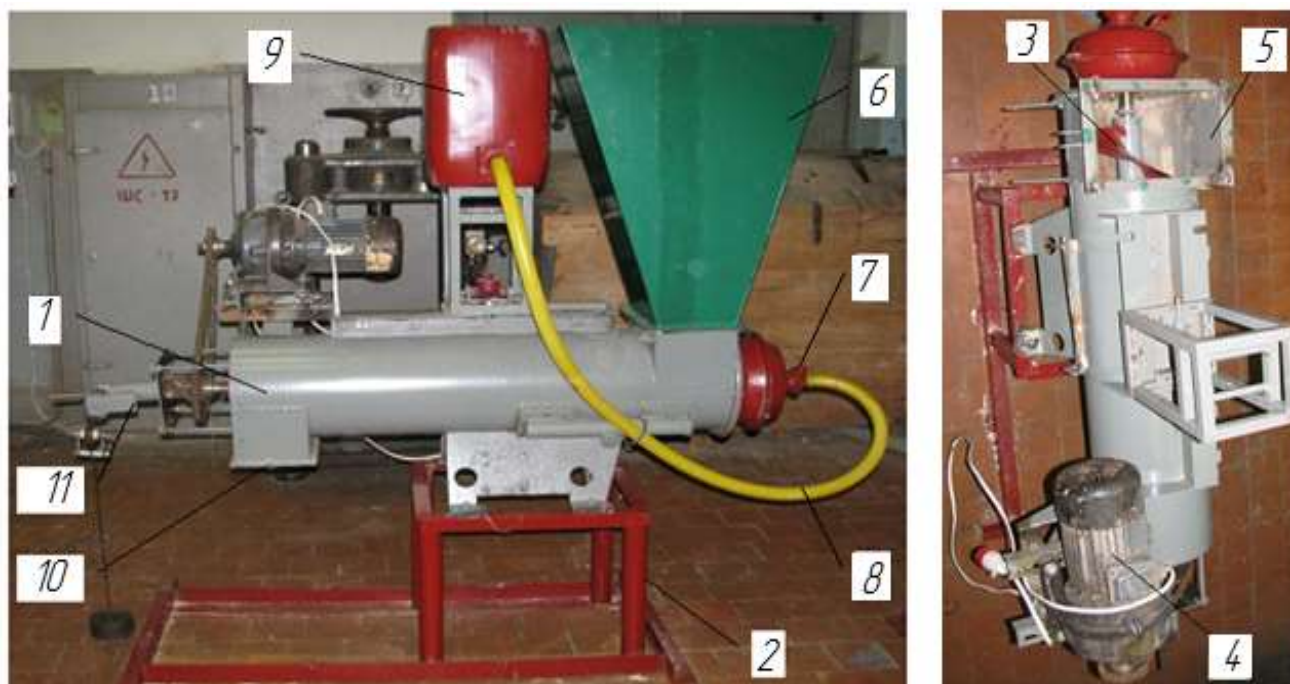


Рисунок 3.12 – Макет шнеко-лопастного смесителя.

Лопасты 1, установленные на трубе рабочего органа по винтовой линии, выполнены полыми (рис. 3.14). Они состоят из трубки 2 и жиклера 3. Сборка трубки и жиклера осуществляется с помощью резьбового соединения. Для изменения пропускной способности мембранного насоса изготовлены комплекты жиклеров с заданными диаметрами отверстий (рис. 3.15).

Мембранный насос СКЭ представлен на рисунке 3.16 и состоит из корпуса 1, крышки 2, мембраны 3 с подшипниковой опорой 4 и полый цапфы 5.

Возвратное устройство шнеко-лопастного смесителя 11 (рис 3.12) представлено на рисунке 3.17. Данное устройство было спроектировано, изготовлено и установлено на смеситель с целью определения массы груза для обеспечения максимальной амплитуды колебания рабочего органа. Возвратное устройство состоит из кронштейна 1, ролика 2, троса 3, стакана 4, блока 5, стержня 6 и грузов 7. Трос 3 закреплен одним концом на стакане 4, установленном на цапфе 5 другим – на стержне 6.

Принцип работы макета шнеко-лопастного смесителя. Бункер 6 (рис. 3.12) заполняется ОКМ, которая поступает через загрузную горловину внутрь корпуса

смесителя. Из емкости 8 по шлангу 9 поступает в мембранный насос СКЭ 17. Винтовой навивкой 3, ОКМ перемещается в зону смешивающих лопастей. Крутящий момент на рабочий орган смесителя передается через цепную передачу от мотор-редуктора 4. Привод мембранного насоса СКЭ осуществляется за счет возвратно-поступательного движения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя, путем воздействия на мембрану 3 через подшипниковую опору 4 (рис 3.13).

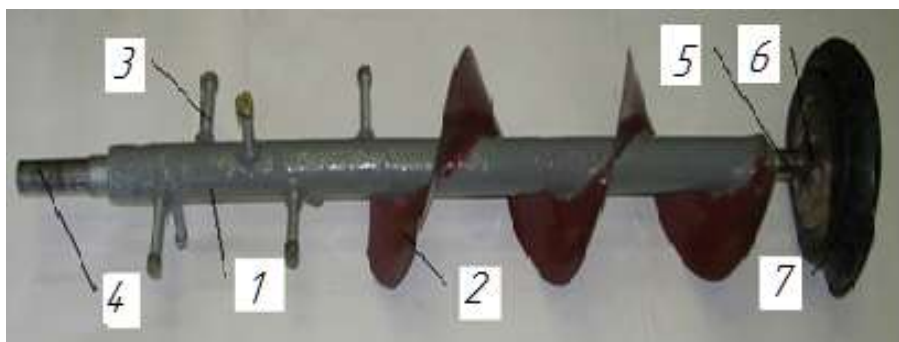


Рисунок 3.13 – Рабочий орган.



Рисунок 3.14 – Лопасты.



Рисунок 3.15 – Жиклеры.



Рисунок 3.16 – Мембранный насос СКЭ.

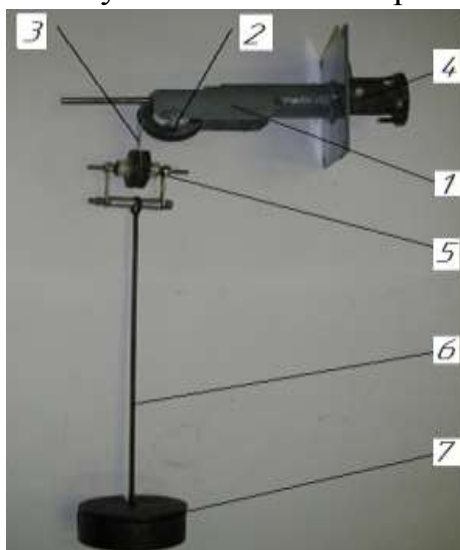


Рисунок 3.17 – Возвратное устройство шнеко-лопастного смесителя.

На винтовую навивку рабочего органа действует сила сопротивления, возникающая при перемещении ОКМ. Достигая своего максимума при максимальном погружении винтовой навивки в ОКМ, при этом перемещая рабочий орган смесителя по направлению к мембранному насосу СКЭ. При дальнейшем вращение рабочего органа площадь соприкосновения винтовой навивки с ОКМ и как следствие сила сопротивления уменьшаются.

Под действием силы тяжести груза возвратного устройства рабочий орган перемещается в обратном направлении, в сторону выгрузного окна. За один оборот рабочий орган совершает одно колебание. Таким образом, мембранный насос через полости рабочего органа и смешивающих лопастей подает СКЭ в зону смешивания. Поэтому СКЭ равномерно распределяется в смешивающей камере. Дополнительно, разработанная конструкция шнеко-лопастного смесителя обеспечивает пропорциональную подачу ОКМ и СКЭ в камеру смешивания.

Исследование процесса смешивания ОКМ и СКЭ проводились на изготовленной в ФГБОУ ВО РГАТУ лабораторной установке (рис. 3.18).

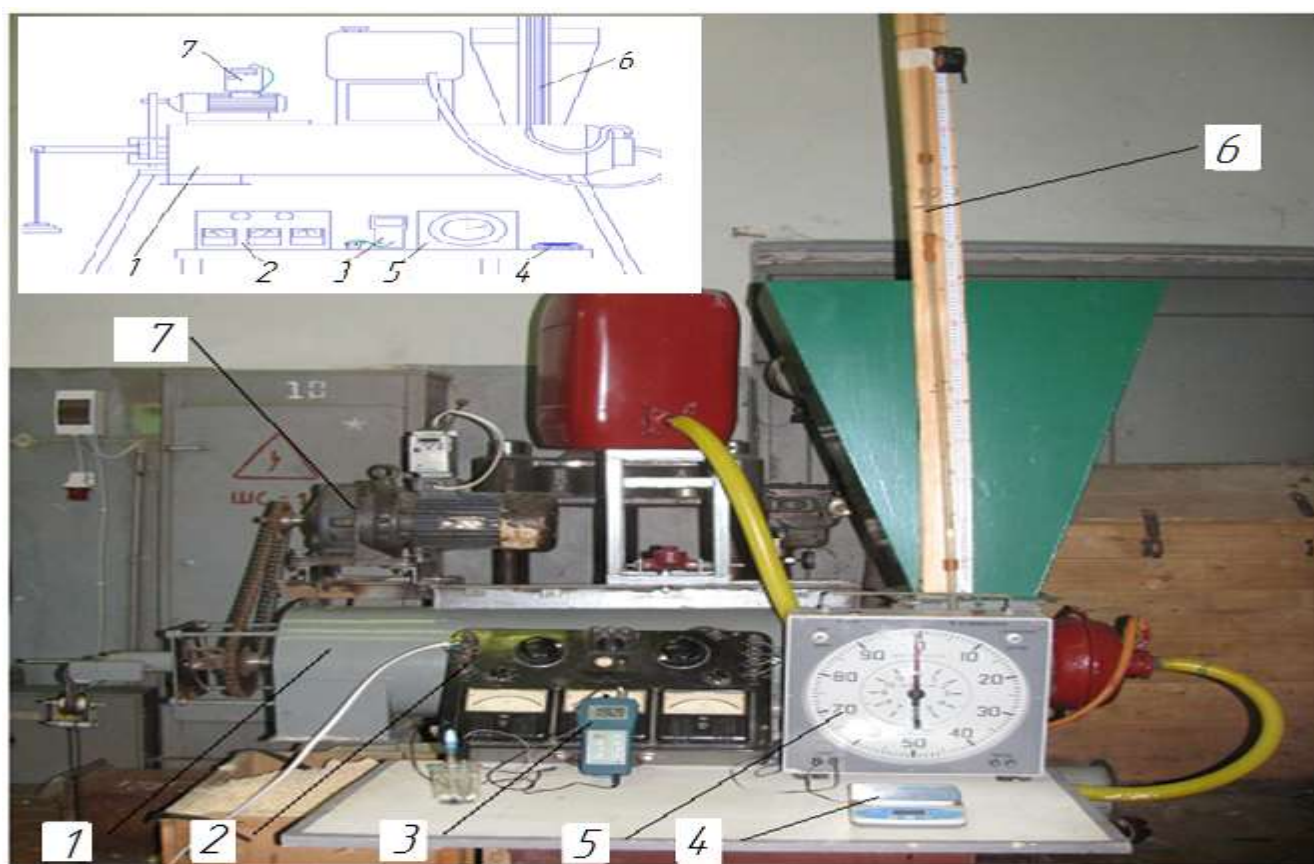


Рисунок 3.18 – Принципиальная схема и общий вид (фото) лабораторной установки для исследования процесса смешивания ОКМ и СКЭ.

Лабораторная установка включает в себя: макет шнеко-лопастного смесителя 1, электроизмерительный прибор (К – 50) 2, кондуктомер (АНИОН 7020) 3, весы (ВСП–0,5-1) 4, секундомер 5, пьезометр 6, преобразователь частоты электрического тока (DELTA VF DL – 3,0kW) 7.

Для изменения частоты вращения рабочего органа был использован преобразователь частоты DELTA VF DL – 3,0kW установленный в электрическую

цепь привода макета шнеко-лопастного смесителя. Предварительно была установлена зависимость частоты вращения рабочего органа от изменения частоты электрического тока (рис.3.19).

Фиксация значений амплитуды колебаний производили с помощью видеокамеры. Для обеспечения фиксации была установлена мерная линейка параллельно оси перемещения стержня. При этом видеокамера устанавливалась под прямым углом к оси стержня. В ходе опытов перемещение стержня относительно мерной линейки фиксировали видеокамеру (рис. 3.20). По результатам исследования исследовали полученное изображение в замедленном режиме.

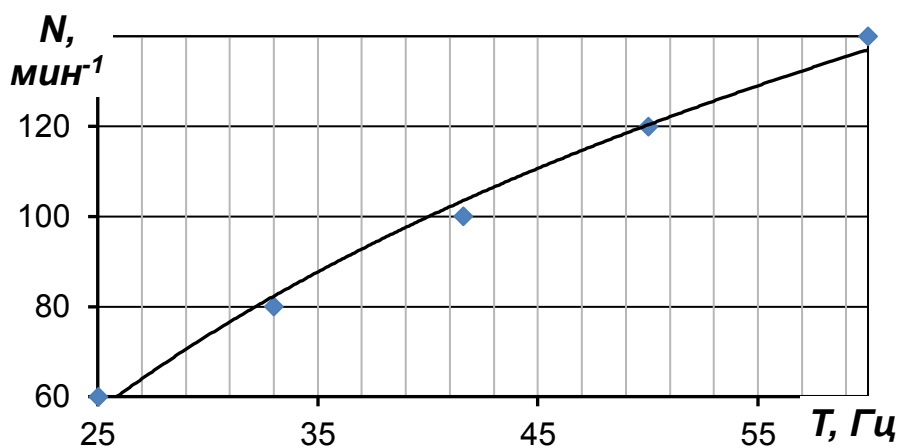


Рисунок 3.19 – Графическая зависимость частоты вращения рабочего органа смесителя от частоты электрического тока.



Рисунок 3.20 – Фиксация показателя амплитуды колебания рабочего органа шнеко-лопастного смесителя.

Критерием качества приготовления кормов из ППКПП является степень однородности смеси СКЭ и ОКМ. В настоящее время существует много способов определения степени однородности кормовой смеси. В исследованиях нами был

использован косвенный способ определения однородности смеси СКЭ и ОКМ основанный на изменении электропроводности материала, с применением кондуктометра «АНИОН 7020».

С целью использования в исследованиях кондуктометра «АНИОН 7020» была определена зависимость электрического сопротивления приготовленного СКК от содержания в нем СКЭ. Для определения данной зависимости использовали образцы СКК с различным содержанием СКЭ, которые приготовили следующим образом. На поддоне тонким слоем насыпали ОКМ затем на неё добавляли СКЭ. Далее проводили трехкратное перемешивание в течение двадцати минут. Кондуктометром «АНИОН 7020» определяли электрическое сопротивление. Приготовленные СКК имели содержание СКЭ от 12 до 25%. В результате была получена графическая зависимость (рис. 3.21). Таким образом, было принято, что полученные числовые значения электрического сопротивления СКК, при заданном содержании СКЭ соответствуют сто процентной степени однородности смешивания.

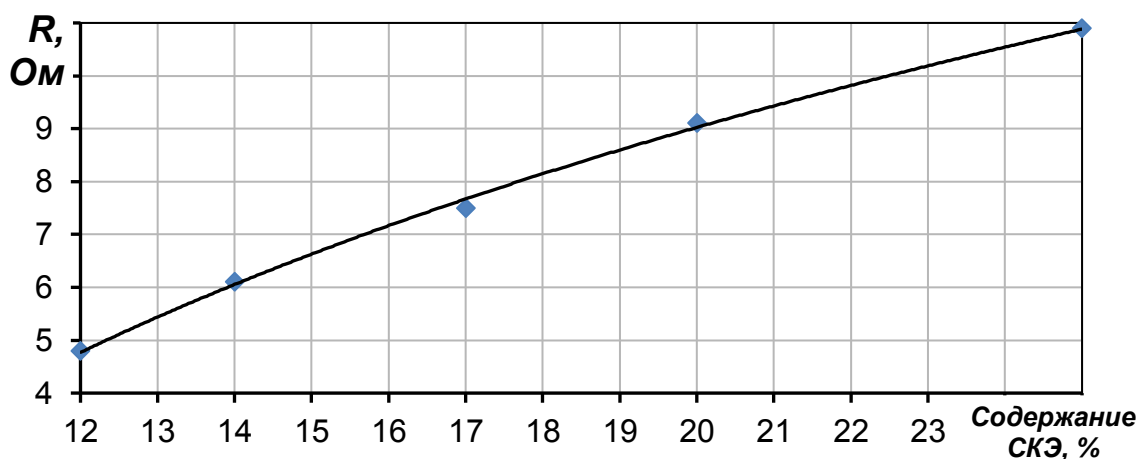


Рисунок 3.21 – Графическая зависимость влияния содержания СКЭ в СКК на их электрическое сопротивление.

3.4.2 Методики однофакторных экспериментов процесса смешивания ОКМ и СКЭ

Разработанную конструкцию по существующей классификации можно отнести к шнеко-лопастным смесителям, которые нашли широкое применение в кормоприготовительном производстве. Данный тип смесителя достаточно хорошо изучен и имеются конкретные рекомендации по конструированию подобных машин

[32, 40, 41, 66, 73]. Отличительной особенностью разработанной конструкции является то, что подача жидкого компонента осуществляется непосредственно в зону смешивания установленном непосредственно на корпусе смесителя мембранным насосом. При этом привод мембранного насоса обеспечивается за счет возвратно поступательных движений рабочего органа.

Поэтому необходимо экспериментально исследовать процесс смешивания ОКМ и СКЭ в разработанном макете шнеко-лопастного смесителя с целью подтверждения выполненных теоретических исследований и обоснования его конструктивно-режимных параметров.

Для исследований использовали ОКМ ($W=60\%$), и СКЭ ($W=65\%$), получаемые в качестве ППКПП на предприятии ОАО Ибретькрахмалпатока, расположенном в Шиловском районе Рязанской области.

При исследовании процесса смешивания СКЭ и ОКМ эксперименты повторяли пятикратно.

Методика определения влияния частоты вращения рабочего органа на производительность шнеко-лопастного смесителя

Исследования влияния частоты вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя на его производительность проводили на описанной выше лабораторной установке (рис. 3.18).

Для обеспечения заданной производительности макета шнеко-лопастного смесителя частота его вращения рабочего органа должна быть $1,3 \dots 2,0 \text{ с}^{-1}$. Поэтому для дальнейших исследований принимаем диапазон изменения частоты вращения рабочего органа (n) от $1,3$ до $2,0 \text{ с}^{-1}$ с шагом изменения $0,17 \text{ с}^{-1}$.

Время смешивания фиксировали электрическим секундомером.

Массу смеси ОКМ и СКЭ определяли на весах ВСП–0,5-1 – 4.

На основании известного времени смешивания и массы смеси рассчитывали производительность макета шнеко-лопастного смесителя (Π , кг/мин,)

$$\Pi = \frac{M}{T}, \text{ кг/с} \quad (3.19)$$

где: M – масса смеси ОКМ и СКЭ, кг; T – время смешивания, с.

Последовательность проведения исследований. Бункер 6 макета шнеко-лопастного смесителя заполняли ОКМ, а емкость 8 – СКЭ (рис. 3.13). Далее

устанавливали требуемую частоту электрического тока преобразователем DELTA VFDL – 3,0kW. Затем запускали в работу макет шнеко-лопастного смесителя, с этого момента вели отсчет времени смешивания. Смешивание проводили в течении пяти минут. По завершению процесса взвешивали полученную смесь и определяли производительность макета шнеко-лопастного смесителя по выражению (3.19).

Методика определения влияния массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа на его амплитуду перемещения

Рабочий орган шнеко-лопастного смесителя за счет своего возвратно-поступательного движения приводит в действие мембранный насос СКЭ. Из хода из конструкции разработанного смесителя необходимо исследовать влияние массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа на его амплитуду колебаний, от которой зависит производительность мембранного насоса СКЭ.

В предыдущих исследованиях было установлено, что диапазон изменения частоты вращения рабочего органа составляет $1,3 \dots 2,0 \text{ с}^{-1}$.

Возвратное устройство смесителя предназначено для обеспечения осевого перемещения рабочего органа по направлению противоположному относительно движения смеси. Масса груза возвратного устройства установили опытным путем. В результате было установлено, что работоспособность макета шнеко-лопастного смесителя ($Q = 1,3 \dots 1,42 \text{ кг/с}$) реализуется при массе груза $5 \dots 15 \text{ кг}$.

Для исследований установлены следующие диапазоны изменения факторов, частота вращения рабочего органа от $1,3$ до 2 с^{-1} с интервалом варьирования $0,17 \text{ с}^{-1}$ и масса груза от $5,0$ до 15 кг - $5,0 \text{ кг}$.

Последовательность выполнения опытов. Бункер 6 макета шнеко-лопастного смесителя (рис. 3.12) заполняли ОКМ, а емкость 9 – СКЭ. При заданных значениях исследуемых факторов, производили смешивание ОКМ и СКЭ и фиксировали амплитуду колебания рабочего органа.

Для фиксации амплитуды колебаний рабочего органа на нем закрепляли стержень с меткой, а в непосредственной близости устанавливали линейку, неподвижно. Видеокамеру устанавливали под прямым углом к линейке (рис. 3.20). В Видеоматериалы обрабатывали при просмотре в замедленном режиме.

Методика определения влияния частоты вращения рабочего органа макета на производительность мембранного насоса СКЭ шнеко-лопастного смесителя

В применяемых в настоящее время технологиях производства крахмала соотношение выхода СКЭ и ОКМ в зависимости от сорта и влажности кукурузного зерна составляет от 1/6,0 до 1/6,8. Разработанная нами технология приготовления кормов из ППКПП предусматривает использование ОКМ и СКЭ в полном объёме, поэтому при их смешивании необходимо соблюдать данное соотношение.

Предыдущими исследованиями были установлены численные значения массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа для обеспечения его амплитуды колебаний в диапазоне от 0,050 до 0,060 м. Таким образом, можно предположить, что максимальная производительность мембранного насоса достигается при амплитуде колебания рабочего органа смесителя равной 0,060 м.

При разработке конструкции шнеко-лопастного смесителя предусматривалось изменение подачи СКЭ в зону смешивания осуществлять за счет изменения диаметра отверстия жиклеров смешивающих лопастей. Это обеспечит соблюдение пропорциональной подачи ОКМ и СКЭ в зону смешивания.

По результатам теоретических исследований была установлена зависимость производительности мембранного насоса СКЭ от частоты вращения и амплитуды колебания рабочего органа, диаметра отверстия жиклеров смешивающих лопастей.

В данном исследовании предусматривалось изучение влияния частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса СКЭ при различных размерах отверстия жиклеров смешивающих лопастей.

Диапазон изменения диаметра отверстий смешивающих лопастей обеспечивающий заданное соотношение подачи ОКМ и СКЭ был определен теоретически и составил от 0,002 до 0,006 м. Данный диапазон был принят при исследовании с интервалом варьирования 0,002 м. Для проведения исследований было изготовлено три комплекта жиклеров с заданными размерами отверстий (рис. 3.15).

Последовательность выполнения исследований. На возвратное устройство макета шнеко-лопастного смесителя установили груз массой 10 кг. На смешивающие лопасти устанавливали жиклеры с заданным размером отверстий.

Затем бункер 6 (рис. 3.12) заполняли ОКМ, а в емкость 9 – заливали определенный объем СКЭ (рис. 3.19). Устанавливали требуемую частоту электрического тока. Затем производили смешивание ОКМ и СКЭ до полного использования последнего.

По результатам опыта фиксировали время смешивания и определяли производительность мембранного насоса СКЭ. смешивания.

3.4.3 Методике многофакторного эксперимента процесса смешивания СКЭ и ОКМ в шнеко-лопастном смесителе

На процесс смешивания ОКМ и СКЭ в макете шнеко-лопастного смесителя оказывает влияние большое количество факторов: геометрические параметры, количество и расположение смешивающих лопаток, частота вращения и амплитуда колебаний рабочего органа, масса груза возвратного устройства и другие. Влияние многих вышеперечисленных факторов достаточно глубоко изучены зарубежными и российскими учеными, в их трудах изложены конкретные рекомендации по обоснованию оптимальных конструктивно-технологических параметров подобных машин. В данном случае считаем необходимым исследовать влияние факторов, диаметр жиклеров смешивающих лопастей, частоты вращения и амплитуды колебания рабочего органа, которые возникли вследствие оригинальности конструкции разработанного макета шнеко-лопастного смесителя.

В результате однофакторных экспериментов было исследовано влияние исследуемых факторов на процесс смешивания ОКМ и СКЭ в макете шнеко-лопастного смесителя.

С целью определения оптимальных режимов процесса смешивания СКЭ и ОКМ и конструктивных параметров шнеко-лопастного смесителя было необходимо исследовать взаимное влияние интересующих факторов. Для решения этой задачи проведен трехфакторный эксперимент [189].

Макет шнеко-лопастного смесителя спроектирован с учетом технологических требований крахмалопаточного производства и обеспечивает производительность 1,30... 1,42 кг/с. Теоретически установлено, что при установленных геометрических размерах для обеспечения требуемой производительности разработанного смесителя, частота вращения рабочего органа должна составлять 1,3 ... 2,0 с⁻¹. Данный показатель подтвержден результатами однофакторного эксперимента. Для

дальнейших исследований диапазон изменения фактора – частота вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя принят от 1,3 до 2,0 с⁻¹ с интервалом варьирования – 0,3 с⁻¹.

Амплитуда колебания рабочего органа связанного непосредственно с мембраной насоса СКЭ оказывает влияние на энергоемкость процесс и однородность смешивания. По результатам однофакторных экспериментов установлено, что при массе груза возвратного устройства 10 кг и частоте вращения рабочего органа от 1,3 до 2,0 с⁻¹ максимальное значение его амплитуды колебания составляет 0,050...0,060 м. Таким образом, при данных значениях амплитуды колебаний рабочего органа реализуется условие максимальной подачи мембранного насоса СКЭ. Для данных исследований диапазон изменения фактора – амплитуда колебания рабочего органа смесителя составил от 0,050 до 0,060 м с интервалом варьирования 0,00 м.

Установленный в результате теоретических исследований и подтвержденный экспериментально для данных исследований принимаем диапазон варьирования фактора – диаметр отверстия жиклеров смешивающих лопастей 0,002...0,006 м, шаг 0,002 м.

Затраты энергии ($N_{пол}$) на смешивание СКЭ и ОКМ, с учетом затрат холостого хода ($N_{хх}$) фиксировали прибором К-50 и определяли по выражениям аналогичным (3.16).

Удельный расход энергии ($N_{уд}$) определяли по выражению (3.17).

С целью аппроксимирования, числовых значений исследуемых факторов, полученных в результате исследования их влияния на степень однородности СКК и удельном расходе энергии, на их приготовление применим полином второго порядка (3.18).

Математические модели степени однородности СКК и затрачиваемой удельной энергии на их приготовление получены на основании трехуровневого план Бокса-Бенкина.

Для проведения данных исследований была разработана матрица эксперимента (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Матрица эксперимента для исследования процесса смешивания СКЭ и ОКМ.

Уровень и интервал варьирования	Частота вращения рабочего органа (n), мин ⁻¹	Амплитуда колебаний мембраны (A), мм	Диаметр отверстия лопастей (d), мм	Критерий оптимизации	
				Степень однородности смеси, (Θ), %	Удельный расход энергии ($N_{уд}$), кВт /т
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
Верхний уровень (+)	120	60	6	-	-
Основной уровень	100	55	4	-	-
Нижний уровень (-)	80	50	2	-	-
Интервал варьирования	20	10	2	-	-

3.5 Программа исследований процесса приготовления СКК

Процесс приготовления СКК из ППКПП заключается в смешивании ОКМ, дробленого зерна и жмыха, влажность не превышающей 14%, в соответствующем соотношении 75×10×15%.

Для совершенствования процесса приготовления СКК была разработана оригинальная конструкция спирального смесителя, которая имеет ряд преимуществ – высокая степень смешивания, простота конструкции и малая металлоемкость.

Спиральные смесители широко применяются в различных отраслях и в частности – кормоприготовлении. Процесс смешивания в подобных смесителях достаточно хорошо исследован российскими и иностранными учеными. Достигнутые результаты исследований позволяют оценить влияние факторов на процесс смешивания в спиральных смесителях. Однако в разработанной оригинальной конструкции появляется новый фактор – величина эксцентриситета установки конца спирали, который в свою очередь окажет влияния на качество смеси, производительность и энергоемкость смесителя.

Поэтому для аналитического описания процесса приготовления СКК, и теоретического обоснования технологических и конструктивных параметров

разработанного смесителя необходимо выполнить экспериментальные исследования.

Следовательно, задача экспериментальных исследований заключается в исследовании влияния факторов: величина установки эксцентриситета спирали на ведущей цапфе, ее шаг навивки и частота вращения на однородность СКК, производительность и удельный расход энергии разработанного смесителя.

Программа экспериментальных исследований предусматривает определение зависимости влияния на производительность и энергопотребление спирального смесителя;

- частоты вращения спирали;
- величины эксцентриситета установки спирали на ведущей цапфе;
- шага спирали.

3.5.1 Лабораторная установка исследования процесса приготовления СКК

Для экспериментального исследования процесса приготовления СКК кормов, смешивания ППКПП с исходной влажностью не более 14% нами была разработана конструкция смесителя со спиральным рабочим органом, техническая новизна которого подтверждена патентом РФ.

Для подтверждения теоретических исследований процесса приготовления СКК и выполнения экспериментальных исследований был спроектирован и разработан макет спирального смесителя (рис. 3.22).

Макет спирального смесителя имеет корпус 1 в форме усеченного конуса снабженного горловинами в основании – загрузной 2, расположенной хордиально и выгрузной 3, образуемой при усечении его вершины, устройство регулирования производительности 4, за счет изменения шага спирали и рабочий орган 5. Крутящий момент на рабочий орган передается от мотора-редуктора 6 через цепную передачу. Макет смесителя смонтирован на раме 7. Загрузочная горловина 2 снабжена бункером 8 с шиберной заслонкой 9.

На рисунке 3.23 представлен корпус макета спирального смесителя. Рабочий орган макета спирального смесителя, представленный на рисунке 3.24, состоит из ведущей цапфы 1, эксцентрика 2, спирали 3 и ведомой цапфы 4. Оригинальность

конструкции заключается в установке спирали на ведущей цапфе эксцентрично. Таким образом, обеспечивается сложное движение спирали, она имеет осевое вращение и дополнительное - планетарное ее конца закрепленного на ведущей цапфе. Внешняя траектория движения представляет собой усеченный конус, аналогичный форме корпуса смесителя.

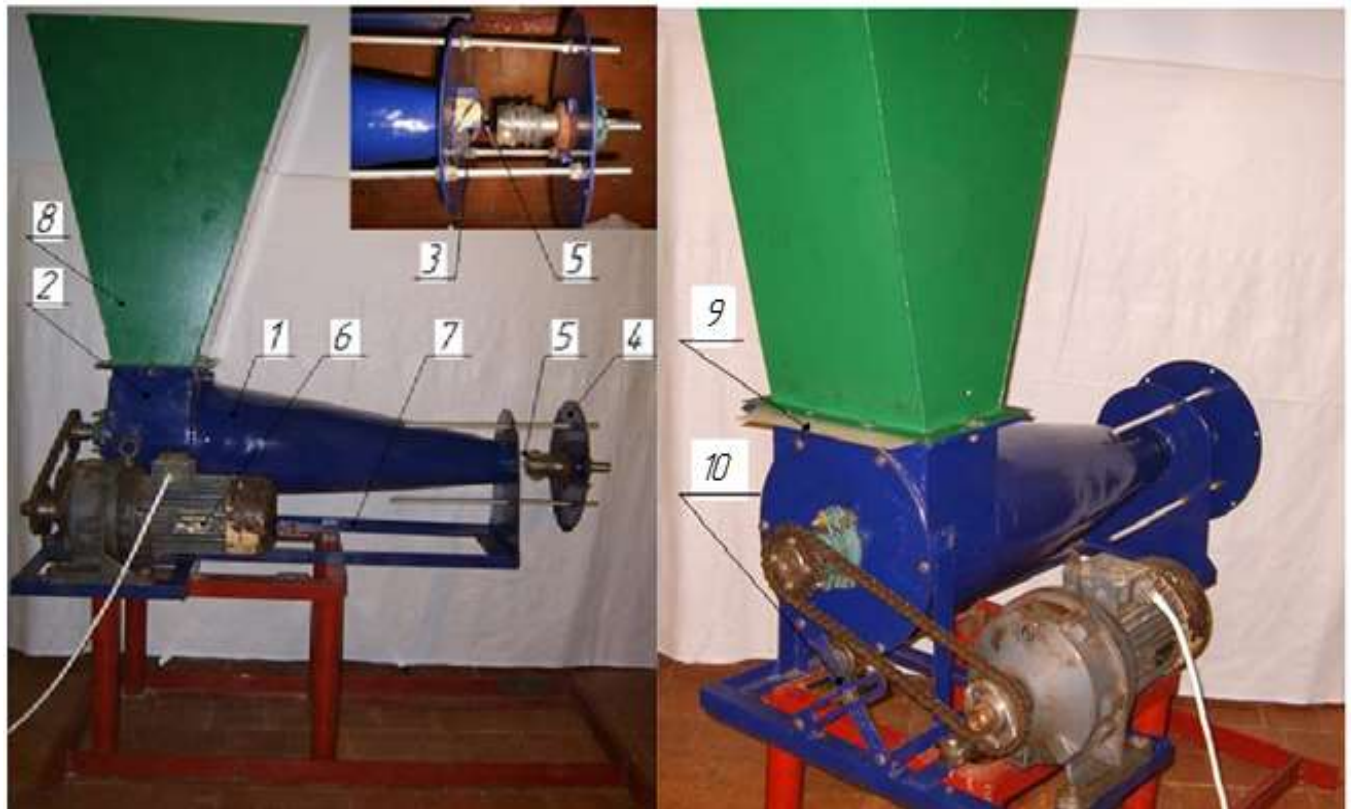


Рисунок 3.22 – Макет спирального смесителя.



Рисунок 3.23 – Корпус макета спирального смесителя

Ведущая цапфа представлена на рисунке 3.26, ее конструкция состоит из вала 1, подшипниковой опоры 2, фиксирующего болта 3 пластины 4 и стакана 5 со

стопорными болтами 6. В пластине 4, имеется сквозной паз, обеспечивающий в экспериментах изменение эксцентриситета.

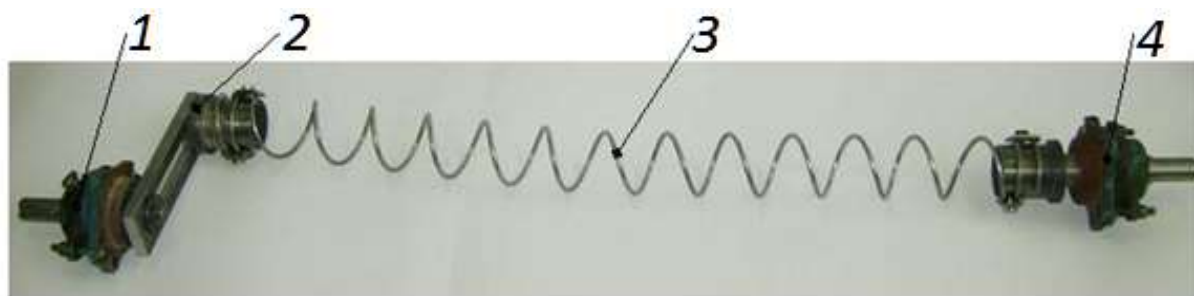


Рисунок 3.24 – Общий вид рабочего органа макета смесителя.

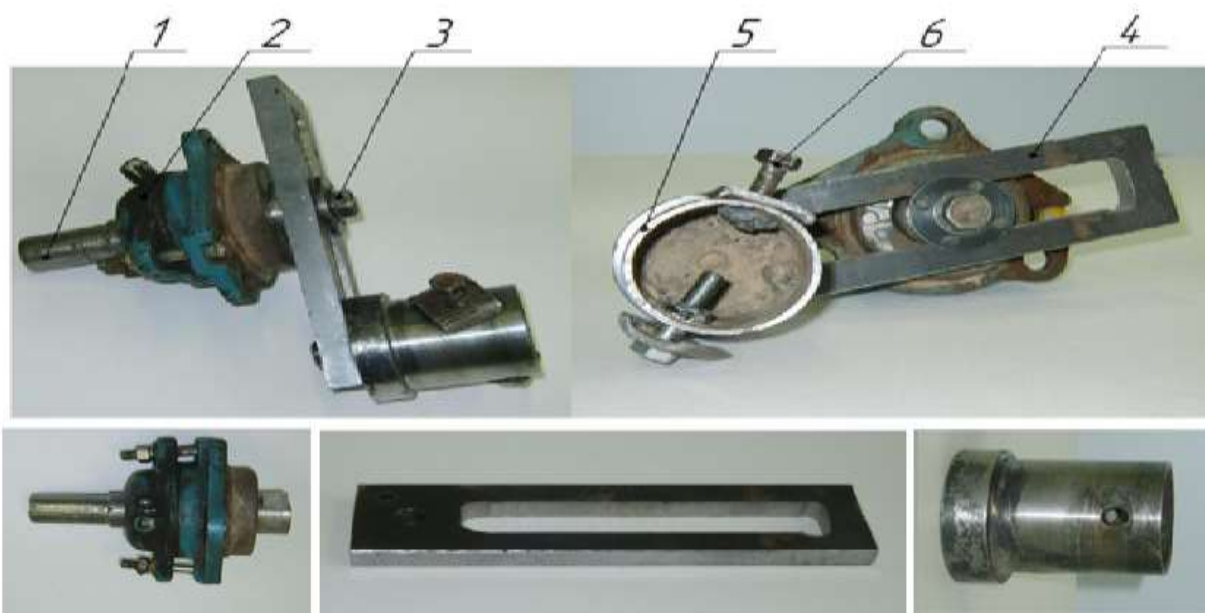


Рисунок 3.25–Ведущая цапфа рабочего органа.

Конструкция ведомой цапфы (рис. 3.26) аналогична ведущей, она состоит из стопорных болтов 1, стакана 2, подшипниковой опоры 3, и оси. Ведомая цапфа установлена на корпусе макета смесителя с возможностью осевого перемещения. Это обеспечивает изменение шага спирали соответственно производительности смесителя.

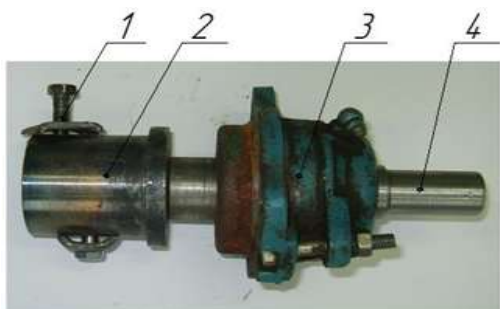


Рисунок 3.26–Ведомая цапфа рабочего органа.

Для выполнения выше изложенной программы исследований было изготовлено пять спиралей с различными значениями межвиткового расстояния (рис. 2.27). Таким образом, совместно с перемещением ведомой цапфа реализовывался диапазон изменения фактора – шаг спирали.

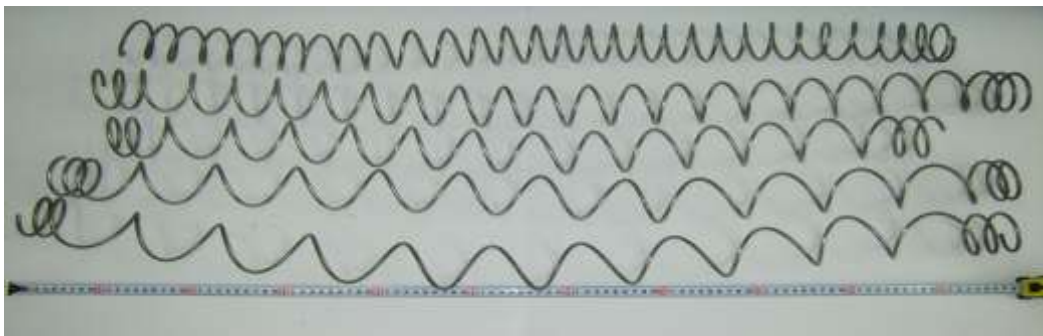


Рисунок 3.27 – Спирали рабочего органа.

Бункер 1 с перегородкой 2 (рис 3.28) установленной с возможностью поперечного перемещения совместно с заслонкой 9 (рис 3.22) выполняли две функции, первая – временное хранение компонентов, вторая – обеспечение дозированной подачи в зону смешивания.

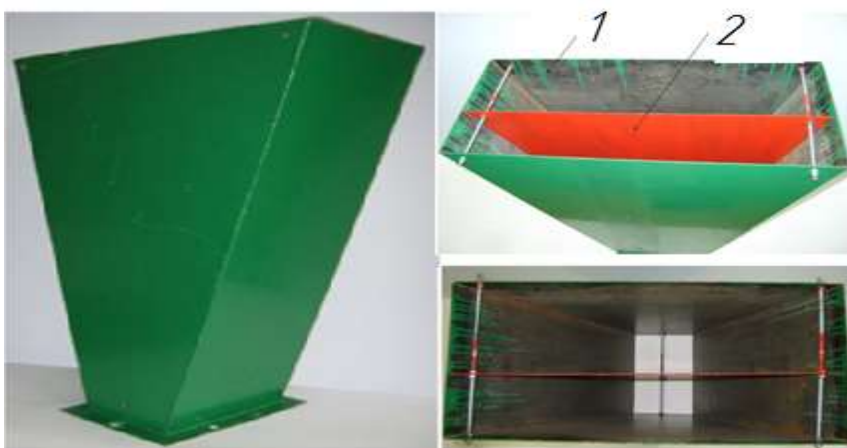


Рисунок 3.28 – Бункер макета спирального смесителя.

Принцип работы макета спирального смесителя (рис. 3.22). Предварительно в зависимости от количества смешивающих компонентов устанавливаются перегородки, разделяющие бункер 8 на секции. После загрузки компонентов макет смесителя подключается к электрической сети. Мотор-редуктор 6 приводит во вращение рабочий орган 5. Заслонка 9 открывается на установленную величину, компоненты дозированно поступают в корпус макета смесителя 1. Спираль 5 за счет осевого вращения перемещает компоненты, при этом происходит смещения слоев

массы обеспечивая перемешивание. За счет дополнительного планетарного движения конца пружины эффективность смешивания повышается.

Для осуществления программы экспериментальных исследований процесса смешивания сухих ППКПП на базе макета спирального смесителя была создана лабораторная, принципиальная схема и общий вид представлены на рисунке 3.29.

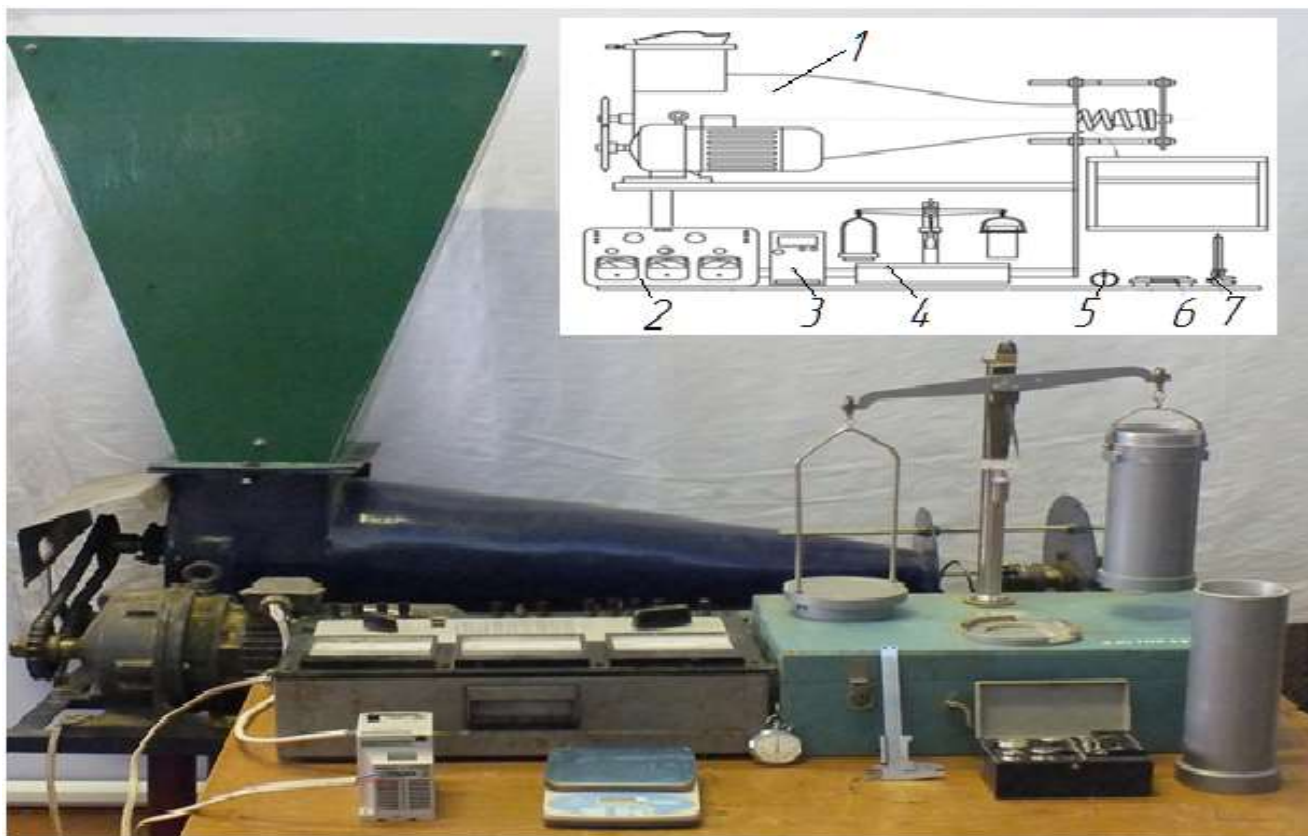


Рисунок 3.29 – Лабораторная установка приготовления СКК.

Лабораторная установка имеет следующее оборудование и приборы: макет спирального смесителя 1, электроизмерительный прибор (К – 50) 2, частотный преобразователь «DELTA VF DL – 3,0kW» 3, пурка литровая (ПХ-1) 4, секундомер 5, весы (ВСП–0,5-1) 6, штангенциркуль 7.

Назначение приборов и оборудования лабораторной установки. Электроизмерительный прибор (К–50) использовался для определения затрачиваемой мощности привода смесителя. Частотный преобразователь «DELTA VF DL – 3,0kW» позволяет, изменяя частоту. Пуркой (ПХ-1) определяли объемную массу ППКПП и приготавливаемого СКК. Секундомер и весы позволили определять время смешивания и массу смеси, соответственно. Штангенциркуль использовали для определения и контроля шага спирали.

Предварительно определили зависимость частоты вращения рабочего органа от изменения частоты тока изменяемой преобразователем DELTA VFDL – 3,0kW. По результатам данного опыта построили графическую зависимость, которую использовали в дальнейших экспериментальных исследованиях при установке заданной частоты вращения рабочего органа (приложении Е, рисунок Е.1 и Е2).

Изменение исследуемых факторов осуществляли следующим образом. Величину эксцентриситета установки конца спирали на ведущей цапфе изменяли за счет перемещения пластины 4 со стаканом 5, крепления спирали, относительно оси вращения вала 1 (рис. 3.25). В данной лабораторной установке производительность макета спирального дозатора, возможно, определять двумя способами. Первый способ, изменением частоты вращения рабочего органа, второй – величиной шага спирали. Для изменения производительности в узком диапазоне в конструкции макета смесителя предусмотрено устройство изменения производительности 4, оно позволяет изменять шаг спирали рабочего органа путем осевого перемещения ведомой цапфы относительно корпуса 1 (рис. 3.21). Для расширения диапазона изменения данного фактора были изготовлены спирали с различным шагом (рис. 3.27).

3.5.2 Методики однофакторных экспериментов процесса приготовления СКК

Как отмечалось ранее приготовление СКК, заключается в смешивании ППКПП влажность которых, не превышает 14%. Для проведения экспериментальных исследований использовали ППКПП ОАО Ибредькрахмалпатока, расположенном в Шиловском районе Рязанской области, ОКМ и дробленое зерно.

Эксперименты проводили с пятикратной повторностью.

Методика определения пропускной способности щелевого дозатора

В макете спирального смесителя роль щелевого гравитационного дозатора выполняли бункер 1 перегородки 2 (рис. 3.28) и заслонка 9 (рис. 3.22).

Для проведения нижеописанных экспериментальных исследований необходимо определить зависимость пропускной способности щелевого дозатора от положения заслонки.

Для определения пропускной способности щелевого дозатора бункер 1 с разделительной перегородкой 2 был демонтирован с макета смесителя и установлен на специально изготовленную раму 3. В нижней части бункера снабжен заслонкой 4, под которой установлена емкость 5 для сбора используемого материала (рис. 3.30). Размер нижнего отверстия бункера соответствует загрузной горловине макета смесителя и составляет $0,29 \times 0,29$ м. Таким образом, длина отверстия щелевого дозатора составляет 0,29 м. Изменяя ширину отверстия с помощью заслонки, устанавливали необходимую площадь отверстия истечения.

Последовательность проведения исследований. Предварительно в бункер устанавливали разделительную перегородку, деля его на две разные по объему секции. Затем при закрытой заслонке заполняли поочередно большую секцию ОКМ, меньшую – дробленным зерном. Далее открывали заслонку и определяли время (t , ч) истечения исследуемого материала. По окончании опыта определяли массу (M , кг) высыпанного материала.



Рисунок 3.30 – Лабораторная установка щелевого дозатора.

Пропускную способность дозатора определяли по выражению

$$Q = \frac{M}{t}, \text{ кг/с} \quad (3.20)$$

Методика определения влияния частоты вращения рабочего органа на производительность и удельный расход энергии спирального смесителя.

Смесителям со спиральным рабочим органом посвящено достаточно много работ зарубежных и отечественных ученых [28, 31, 96, 207, 227]. По вопросу определения оптимального диапазона фактора – частота вращения рабочего органа имеются аргументированные рекомендации. На основании априорной информации,

уточненной результатами постановочных опытов, был принят диапазон изменения частоты вращения рабочего органа – с 1,7 до 5,8 с⁻¹. При этом принимаем шаг варьирования 0,3 с⁻¹.

Исследования проводили на лабораторной установке описанной выше (рис. 3.29). В экспериментах использовалась ОКМ с влажностью 14%.

Последовательность выполнения экспериментов. Предварительно устанавливали эксцентриситет на ведущей цапфе равный 0,08 м и соответствующую спираль. Шаг спирали в данном эксперименте устанавливали равный 0,065 м. Далее устанавливали необходимую частоту вращения рабочего органа с помощью преобразователя DELTA VFDL – 3,0kW. Загружали ОКМ в бункер, и запускали макет спирального смесителя. Открывали заслонку бункера и фиксировали время работы. По окончании эксперимента определяли массу ОКМ, прошедшую через макет смесителя.

Производительность макета спирального смесителя (Q , т/ч) определяли по выражению

$$Qc = \frac{M_{СКК}}{T}, \text{ кг/с} \quad (3.21)$$

где: $M_{СКК}$ – масса приготовленного СКК, кг; T – время работы спирального смесителя, с.

Удельный расход энергии рассчитывали аналогично вышеизложенной методике по выражениям (3.16) и (3.17).

Последовательность выполнения исследования. Бункер (рис 3.22) загружали ОКМ. Запускали макет смесителя и устанавливали необходимую частоту вращения рабочего органа. При исследовании определяли время смешивания и массу приготовленного СКК, фиксировали показания электроизмерительного прибора. На основании полученных результатов рассчитывали производительность и удельный расход энергии.

Методика определения влияния шага спирали смесителя на его производительности и энергоёмкость.

Согласно известному выражению, для смесителей с подобными рабочими органом междувитковое расстояние (шаг) спирали следует определять как

$$s = (0,75 \dots 1,4)D_{сн.}, \text{ м} \quad (3.22)$$

где D_{cn} – диаметр спирали, м.

При диаметре спирали $D_{cn}=0,065$ м среднее значение ее шага должно составлять $s = 0,065$ м.

Принимая во внимание априорную информацию и особенности конструкции разработанного смесителя, в частности наличия эксцентриситета, принимаем для данного исследования диапазон варьирования фактора – межвитковое расстояние спирали от 0,035 до 0,095 м, с шагом 0,015 м. Для реализации данного диапазона были использованы специально изготовленные спирали (рис. 3.27). Таким образом, устанавливалась спираль с ближайшим значением шага, который корректировался до требуемого значения устройством регулирования производительности макета смесителя 4 (рис. 3.22).

Последовательность проведения исследований. В макете спирального смесителя (рис. 3.22) устанавливали требуемые значения эксцентриситета (0,08 м) и частоты вращения ($3,3 \text{ с}^{-1}$) рабочего органа. Устанавливали соответствующую спираль, при необходимости корректировали ее шаг (рис. 3.22). Загружали в бункер ОКМ. Запускали макет смесителя и фиксировали время работы и показатели затрачиваемой мощности. По окончании опыта определяли массу ОКМ.

Производительность и удельные затраты энергии макета спирального смесителя определяли по выражениям (3.21) и (3.16), (3.17) соответственно.

Методика определения влияния величины эксцентриситета спирали смесителя на его производительность и удельный расход энергии

В результате теоретических исследований было установлено, что на производительность спирального смесителя влияет эксцентриситет установки спирали рабочего органа. Наличие эксцентриситета увеличивает сопротивление перемещению смеси. Таким образом необходимо установить зависимость влияния величины эксцентриситета на производительность и затраты энергии спирального смесителя.

В макете спирального смесителя величина эксцентриситета изменяется путем перемещения пластины со стаканом и закрепленным на нем концом спирали относительно вала ведущей цапфы. Для этой цели в пластине имеется сквозной паз (рис. 3.25).

Анализ априорной информации показал что, информации по результатам исследований, кусаемых определения величины эксцентриситета в подобных конструкциях крайне мало. Поэтому необходимо провести экспериментальные исследования.

Конструкция макета спирального смесителя позволяет принять начальную границу диапазона изменения фактора – эксцентриситета установки конца спирали на ведущей цапфе равным 0,055 м. Конечную границу диапазона следует определить в результате эксперимента. Вероятно что с увеличением значения эксцентриситета затраты потребляемой энергии увеличатся.

Для исследований использовалась ОКМ влажностью 14%.

Последовательность выполнения эксперимента. Первоначально устанавливали необходимую величину эксцентриситета установки спирали на ведущей цапфе. Опыты проводили с фиксированными значениями шага и частоты вращения спирали рабочего органа 0,060 м и 3,3 с⁻¹, соответственно. Загружали бункер макета спирального смесителя, включали его и открывали заслонку, при этом снимали интересующие нас показатели. После завершения опыта взвешивали ОКМ.

Производительность и удельный расход энергии макета спирального смесителя определяли по выражениям (3.21) и (3.16), (3.17) соответственно.

3.5.3 Методика многофакторного эксперимента процесса приготовления СКК

С целью оптимизации процесса приготовления СКК и обоснования оптимальные конструктивно-режимных параметров предложенного спирального смесителя необходимо провести многофакторный эксперимент. С помощью данного эксперимента необходимо оптимизировать те факторы, которые характерны данной конструкции спирального смесителя и являются не достаточно изученными. Таким образом, необходимо установить оптимальные значения шага спирали и эксцентриситета ее установки на ведущей цапфе, а также частоту вращения рабочего органа. Поэтому по числу интересующих факторов необходимо провести трехфакторный эксперимент [37, 58, 188].

Факторы, диапазоны и интервалы их варьирования установлены на основании априорной информации и уточнены результатами выполненных однофакторных экспериментов [33, 47, 64, 89, 96].

На основании выше сказанного были установлены следующие диапазоны варьирования факторов:

частота вращения рабочего органа – от 1,7 до 5,0 с⁻¹ с интервалом – 1,7 с⁻¹;

шаг спирали – от 0,055 до 0,095 м, с интервалом – 0,020 м;

величина эксцентриситета установки спирали – от 0,055 до 0,085 м с интервалом 0,015 м.

В качестве критерий оптимизации использовали степень однородности, как качественный показатель СКК и энергоемкость процесса смешивания в спиральном смесителе.

Удельный расход энергии определяли по выражениям аналогичным (3.16) и (3.17).

Показатель однородности СКК определяли следующим образом.

В экспериментах было принято соотношение смешиваемых компонентов, дробленого зерна кукурузы и ОКМ как 1:2, соответственно. Объемная масса СКК была определена теоретически по выражению

$$\rho_c = \frac{M_{изк} + M_{ОКМ}}{\left(\frac{M_{изк}}{\rho_{изк}} + \frac{M_{ОКМ}}{\rho_{ОКМ}} \right)}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.23)$$

где: $\rho_{изк}$, $\rho_{ОКМ}$ – объемная масса измельченного зерна кукурузы и ОКМ кукурузной мезги, соответственно кг/м³;

$M_{изк}$, $M_{ОКМ}$ – масса компонентов смеси, измельченного кукурузного зерна и ОКМ, соответственно, кг/ч.

В результате было установлено, что объемная масса СКК составляет $\rho_{СКК}=422$ кг/м³. Данное значение было принято за «эталон».

При проведении исследований брали пробы из смешанной массы и экспериментальным путем с помощью пурки литровой (ПХ-1) определяли их объемную массу. Далее определяли неоднородность смеси (δ , %) по выражению:

$$\delta = \frac{100}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\rho_{ci} - \rho_c|}{\rho_c}, \% \quad (3.24)$$

где: ρ_{ci} , ρ_c – объемная масса пробы ССК и эталонное значение, соответственно;
 n – число проб.

Степень однородность (Θ , %) определяли по выражению

$$\Theta = 100 - \delta, \% \quad (3.25)$$

С целью аппроксимирования, числовых значений исследуемых факторов, полученных в результате исследования их влияния на степень однородности ССК и удельном расходе энергии, на их приготовление применим полином второго порядка (3.18).

Математические модели степени однородности ССК и затрачиваемой удельной энергии на их приготовление получены на основании трехуровневого план Бокса-Бенкина.

Для осуществления исследований была разработана матрица эксперимента (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Матрица эксперимента для исследования процесса приготовления ССК.

Уровень и интервал варьирования	Частота вращения рабочего органа (n), мин ⁻¹	Шаг спирали (S), мм	Эксцентриситет, мм	Критерий оптимизации	
				Степень однородности смеси, (Θ), %	Удельный расход энергии ($N_{y\partial}$), кВт/т
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
Верхний уровень (+)	300	95	85	-	-
Основной уровень (0)	200	75	70	-	-
Нижний уровень (-)	100	55	55	-	-
Интервал варьирования	100	20	15	-	-

3.6 Программа и методика производственных испытаний

3.6.1 Программа и методика производственных испытаний технологии приготовления ВКК

В результате выполненных теоретических и лабораторных исследований были установлены оптимальные и рациональные конструктивно-технологические параметры технических средств реализующих технологию производства ВКК.

Технологическая линия производства ВКК влажного корма из ППКПП состоит из нейтрализатора СКЭ, шнеко-лопастного смесителя, транспортера для подачи ОКМ и бункера накопителя готовой продукции. Способ приготовления и технические средства указанной технологической линии защищены патентами РФ на изобретения №: 2336722; 2396838; 2422039; 2454273; 2492776.

В программу производственных испытаний входило подтверждение эффективности использования предложенной технологии приготовления ВКК и обеспечивающих ее технических средств.

Таким образом, необходимо установить следующие параметры:

- максимальную температуру нагревания СКЭ и время ее достижения;
- значение рН нейтрализованного СКЭ;
- производительность нейтрализатора СКЭ;
- удельные затраты энергии нейтрализатора СКЭ;
- производительности шнеко-лопастного-смесителя;
- удельные затраты энергии шнеко-лопастного смесителя;
- степень однородности ВКК.

При производственной проверки технологии и технических средств производства ВКК СКЭ влажностью $W=58\%$ и начальной температурой 30°C (после выпарных установок) и ОКМ $W=60\%$. Эти компоненты являются ППКПП ОАО «Ибредькрахмалпатока».

Совместно с технологом ОАО «Ибредькоахмалпатока» была разработана технологическая карта производства ВКК, в соответствии с которой выполнялась следующая последовательность операций.

Во внешнюю емкость нейтрализатора подают $2,5\text{м}^3$ СКЭ, при этом его температура после выпарных установок и отстоя, составляет $28...32^{\circ}\text{C}$. Во

внутреннюю емкость подают 200 литров воды, затем при постоянном перемешивании дозированно добавляют 55,5 кг оксида кальция и 27,5 кг гидроксид натрия. После загрузки реагентов включают насос нейтрализатора – обеспечивая циркуляцию СКЭ. По пришествию 1800....2700 секунд начинают смешивание СКЭ с водным раствором реагентов, которое длится 1500..1800 с. При стабилизации значения рН смешивание прекращают.

По завершению процесса нейтрализации СКЭ подавали к мембранному насосу шнеко-лопастного смесителя. ОКМ к шнеко-лопастному смесителю поступала от прессов обезвоживателей. Подача СКЭ и ОКМ осуществлялась в пропорции 1:6,4. Готовый ВКК корм направлялся в бункер временного хранения, а затем на отгрузку.

После того как технология была отработана и персонал обучен проводились производственные испытания, которые заключались в фиксировании интересующих показателей. Данные испытания проводили совместно с сотрудниками лаборатории ОАО «Ибренькрахмалпатока».

За точку отсчета времени нагревания СКЭ приняли начало подачи реагентов во внутреннюю емкость нейтрализатора. Фиксацию времени осуществляли электронным секундомером. Температуру нагревания СКЭ фиксировали термометром М-838, замеры вели каждые 120 с. Процесс нагревания считали законченным при стабилизации температуры. За точку отсчета времени нейтрализации принимали начало смешивания раствора реагентов с СКЭ. Значения рН СКЭ определяли в лаборатории с помощью прибора РН-150МИ, пробы отбирали каждые две минуты. Завершение процесса нейтрализации определяли по стабилизации значения рН СКЭ. Затраты энергии нейтрализатора и шнеко-лопастного смесителя определяли приборами К-50. Затем проводили расчет удельного расхода энергии, по методике изложенной выше. Однородность приготовленного ВКК определяли косвенным путем изложенном в разделе (раздел 3.4.1).

3.6.2 Программа и методика производственных испытаний спирального смесителя

Для приготовления СКК была разработана, теоретически и экспериментально обоснована конструкция спирального смесителя[127, 167, 168, 175, 179, 184, 186,

187, 192]. По результатам исследований подготовлена техническая документация и изготовлены производственные образцы спирального смесителя.

В программу производственных испытаний входило определение работоспособности спирального смесителя и выявление эффективности его применения в технологических линиях приготовления СКК в рассыпном и гранулированном виде.

В результате производственных испытаний необходимо установить:

- производительность спирального смесителя;
- удельный расход энергии спирального смесителя
- степень однородности СКК.

Производительность спирального смесителя определяли по методике, изложенной выше (раздел 3.5.2).

Энергетические характеристики фиксировали электроизмерительным прибором К-50. Расход потребляемой энергии определяли по выражениям (3.16) и (3.18).

Однородность СКК определяли косвенным методом аналогично методике изложенной в разделе 3.5.3. Для конкретного испытания, в зависимости от количества смешиваемых компонентов, готовили смесь в известной пропорции, определяли объемную массу, принимали ее за эталонный показатель. Далее отбирали пробы на выходе из смесителя и пуркой ПХ-1 определяли их объемную массу. Расчет степени однородности вели по выражениям (3.23) – (3.25).

3.6.3 Программа и методика исследований эффективности использования ВКК и СКК в рационах кормления сельскохозяйственных животных

В программу исследований входило подтверждение эффективности использования ВКК и СКК в рационах кормления сельскохозяйственных животных. При исследовании необходимо было установить поедаемость приготовленных кормов, их влияние на конечную продукцию и животных, возможность замены ими дорогостоящих концентрированных зерновых кормов.

При первоначальной апробации технологии приготовления ВКК необходимо было оценить поедаемость и безвредность приготовленного корма в рационах кормления животных. Следует отметить, что до внедрения разработанной технологии ОАО

«Ибредькрахмалпатока» реализовывала производителям животноводческой продукции ОКМ с небольшой долей СКЭ (10%) без нейтрализации.

Первоначально были проведены исследования, которые имели сравнительный характер. Сравнение ВКК осуществляли относительно применяемой в кормлении ОКМ. Исследования проводили в хозяйстве, которое использовало в рационе кормления дойного стада ОКМ в течение последних трех лет. Норма выдачи ОКМ составляла от 10 до 14 кг/гол.

Для выполнения исследования было разделено две группы коров. В первой, контрольной, группе в соответствии с принятым в хозяйстве рационе выдавали 12 кг/сут ОКМ. Во второй опытной группе ОКМ была заменена ВКК в том же количестве.

Первый этап исследования составил 12 дней. ВКК доставлялся ежедневно автотранспортом с предприятия ОАО «Ибредькрахмалпатока».

Исследования по определению эффективности применения ВКК и СКК путем замены ими части концентрированных зерновых кормов.

Для осуществления исследований было сформированы две группы животных-аналогов. Таким образом, получали опытную и контрольную группу животных, с одинаковой массой и продуктивностью. Рацион для животных был сбалансирован на основании компонентов хозяйства. При исследованиях в контрольной группе рацион оставался неизменным, а в опытной использовали ВКК или СКК.

При проведении исследований контроль за состоянием животных и их продуктивностью осуществляла зоотехническая служба хозяйства. Качество продукции определяли в лаборатории хозяйства.

Исследования проводили в три этапа. При первом подготовительном этапе в течение 15 дней формировалась необходимая флора в рубце животного, это позволило получить соответствующую популяцию микроорганизмов для переваривания новых компонентов рациона.

Опытный период составлял в среднем 30 дней, в течение которого определяли продуктивность животных и качество производимой продукции.

В первые два периода рацион кормления животных не изменяли. Контрольная группа получала корма в соответствии с используемым в хозяйстве рационом. В рацион опытной группе включали ВКК или СКК.

В заключительном периоде в рационе кормления опытной группы исключали ВКК или СКК, заменяя их концентрированными. Таким образом, заключительный период позволил подтвердить, что полученные результаты исследования являются следствием использования именно ВКК или СКК, а ни каких либо других причин.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты исследования физико-механических и теплофизических свойств ППКПП

4.1.1. Влияние температуры СКЭ на его вязкость

На основании численных значений времени истечения СКЭ из вискозиметра ВЗ – 246 и последующего вычисления по выражению (3.2) получили зависимость его кинематической вязкости (ν) от температуры нагревания в исследуемом интервале от 20 до 90°C.

Предварительное определение значений плотности СКЭ в данном интервале позволили определить его динамическую вязкость (η) по выражению (3.4).

Графическое отображение влияния температуры нагревания СКЭ на его вязкость представлено на рисунке 4.1.

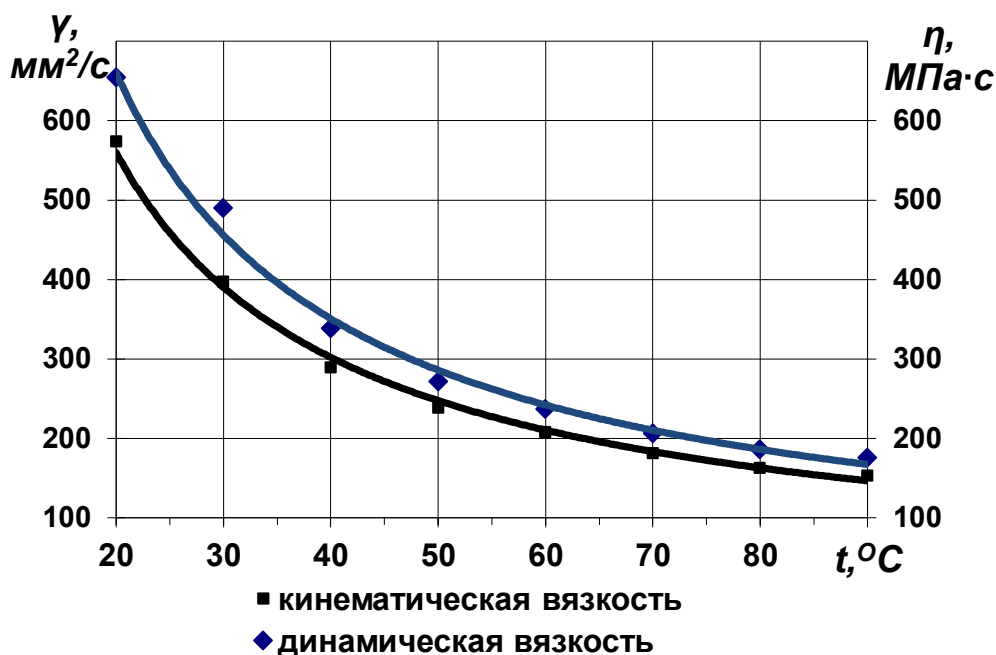


Рисунок 4.1 –Графическое отображение влияния температуры нагревания СКЭ на его вязкость.

Проведенные исследования показали, что вязкость СКЭ в значительной мере зависит от его температуры. В исследуемом интервале температуры нагревания от 20 до 90°C его вязкость снижается более чем в три раза. Данное явление происходит из-за уменьшения молекулярного притяжения.

Графическое отображение позволяет увидеть, что в исследуемом интервале температуры нагревания СКЭ его кинематическая вязкость изменяется от 575 до 153

мм²/с. Характер изменения динамической вязкости аналогичен при этом снижению ее значений происходит с 645 до 175 МПа·с [202].

Дальнейшее нагревания СКЭ приводит к его спеканию и комкообразованию.

Результаты исследования доказывают, выдвинутое ранее предположение, что для повышения эффективности транспортировки, дозирования, смешивания и других технологических операций СКЭ необходимо нагревать до 40...55°С.

4.1.2. Влияние температуры СКЭ на его липкость

В результате исследования по определению температуры нагрева СКЭ на его липкость по методике Н. А. Качинского изложенной в разделе 3.2.2 были получены численные значения усилия отрыва диска. По выражению (3.5) вычислили значение липкости СКЭ в исследуемом диапазоне температуры его нагрева от 15 до 85°С.

На рисунке 4.3 представлено графическое отображение влияния температуры (t) нагревания СКЭ на липкостью (L).

Данное графическое отображение показывает, что значение липкости СКЭ изменяется с 29,5 Н/м² температуре +15°С до 33,3 Н/м² при – +85°С. Характер кривой в диапазоне от +20 до +70 °С можно описать как близкий к параболе.



Рисунок 4.2 – Влияние температуры нагрева СКЭ на его липкость.

Минимальное значение липкости СКЭ 13,7 Н/м² С достигается при + 45°С. В интервале с +15 до +43°С значения липкости СКЭ снижаются с 29,5 Н/м² достигая своего минимального значения. В следующем интервале с +53 до +85°С наблюдается

возрастание значения липкости СКЭ с 14,1 до 33,3 Н/м².

Увеличение температуры СКЭ от +15 до +43°С вызывает снижение значения вязкости и дезагрегацию его составляющих, что ведет к уменьшению липкости экстракта. Затем при температуре выше +53°С происходит постепенная из-за кислой среды денатурации белков с выпадение их в осадок, отчего липкость сгущенного экстракта возрастает, кроме того уменьшается влажность СКЭ, эта причинно-следственная связь подтверждается исследованиями других авторов [225, 232].

4.1.3 Влияние влажности СКЭ на его плотность

Значение плотности СКЭ имеет большое влияние на технологические процессы, связанные с его применением в СКК. Значения числовых значений плотности СКК при заданной влажности позволяют вычислить его теплоемкость.

В результате исследования получены данные, на основании которых представлено графическое отображение влияния влажности (W) СКЭ на его плотность (ρ) (рис. 4.3).

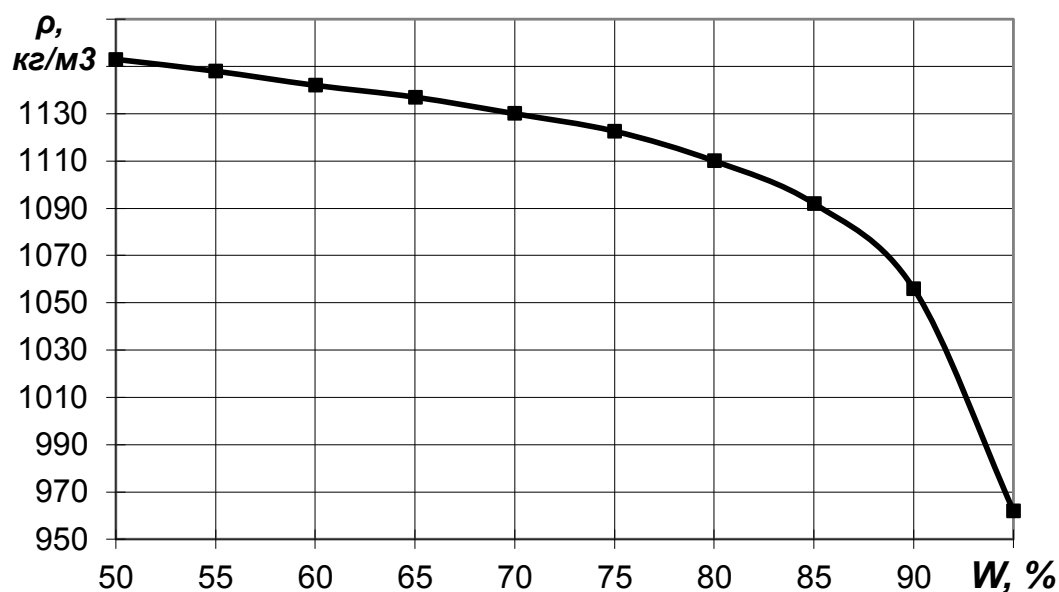


Рисунок 4.3 – Графическое отображение влияния влажности СКЭ на плотность СКЭ.

Влажность СКЭ оказывает значительное влияние на его плотность. Из представленного графического отображения (рис. 4.4) следует, что при изменении влажности с 50 до 95% плотность СКЭ снижается с 1150 до 962 кг/м³. Участок кривой от 50 до 85% влажности можно характеризовать как плавное уменьшение плотности СКЭ. Это связано с удалением воды как составляющей с меньшей плотностью. Резкое падение плотности СКЭ до значения 962 кг/м³ наблюдается на

участке с 85 до 95%. Данное явление сопряжено с наличием в СКЭ летучих кислот (0,5..0,7%), которые удаляются при его нагревании (выпаривании).

4.1.4 Влияние влажности ВКК на его объемную массу и угол естественного откоса

ВКК производится по разработанной нами технологии на ОАО «Ибретькрахмалпатока» Рязанской области Шиловского района. Приготовленный корм состоит из ОКМ и нейтрализованного СКЭ смешанных в соотношении 1:6,4 и имеет влажностью 56...60% [161,169, 171, 193, 195, 197].

Для данного эксперимента были приготовлены образцы ВКК с влажностью от 5 до 80% путем смешивания нейтрализованного кукурузного экстракта с ОКМ в указанном соотношении дальнейшей сушкой.

По результатам лабораторных исследований (приложение В, таблицы В.1) представлено графическое отображения влияния влажности (W) СКК, на его объемную массу (γ) и угол естественного откоса (α) (рис. 4.4).

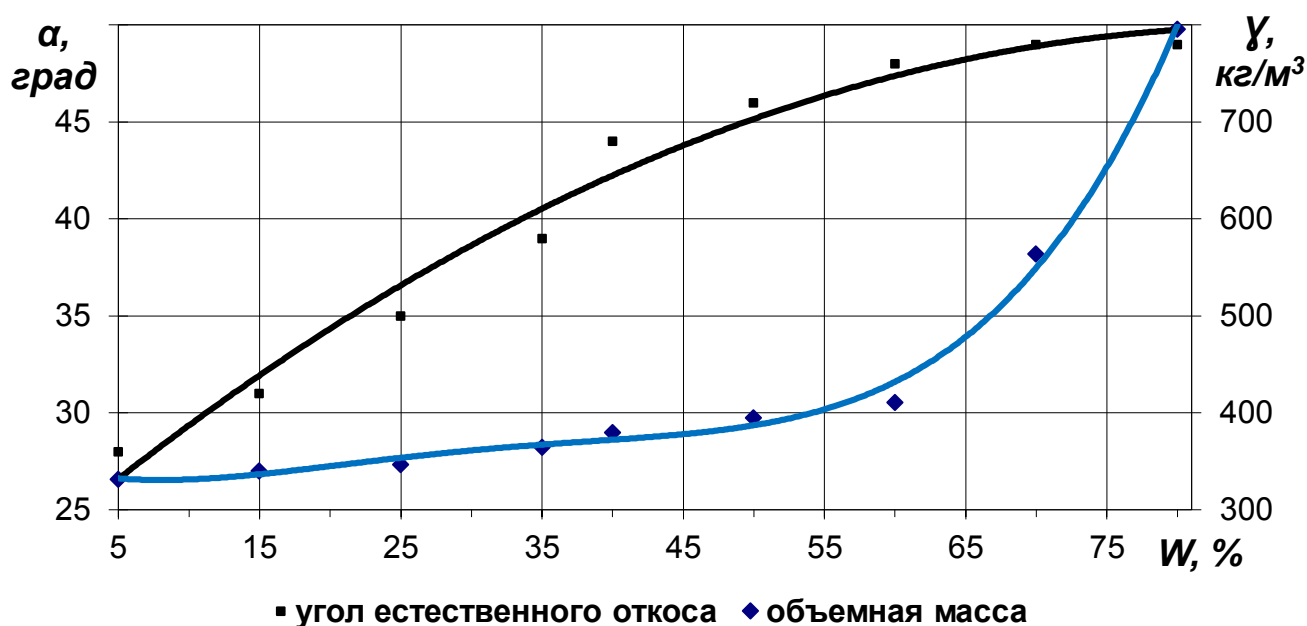


Рисунок 4.4 – Графическое отображение влияния влажности ВКК на объемную массу и угол естественного откоса.

Увеличение влажности ВКК от 5 до 80% ведет к изменению угла естественного откоса с 28 до 50° из-за роста сил внутреннего трения корма вследствие разрушения нативной структуры крахмального зерна и слипания частиц СКК [60]. При достижении влажности 80% и более корм приобретает свойство текучести.

Объемная масса ВКК при изменении влажности с 5 до 80% увеличивается с 349

до 796 кг/м^3 . На графическом отображении можно выделить два характерных участка. На первом участке при изменении влажности ВКК с 5 до 45...50% наблюдается плавное увеличение объемной масса с 330 до 390 кг/м^3 . На втором – при увеличении влажности ВКК до 80% происходит стремительное увеличение объемной массы до 796 кг/м^3 . Характер зависимости объемной массы от влажности ВКК следует объяснить его гигроскопичностью. На первом участке происходит насыщение ВКК водой, как результат увеличение массы и объема за счет набухания. Второй отрезок характеризуется, увеличением насыщения частиц ВКК влагой при этом увеличение их объема не происходит.

4.1.5 Влияние влажности на объемную массу ППКП

В результате выполненных исследований по методике, изложенной в разделе 3.2.3, были получены численные значения объемной массы дробленого зерна кукурузы жмыха в зависимости от влажности (приложение В, таблица В.2). На основании полученных результатов на рисунке 4.5 представлено графическое отображение влияния влажности (W) на объемную массу (γ) кукурузного дробленого зерна и жмыха.

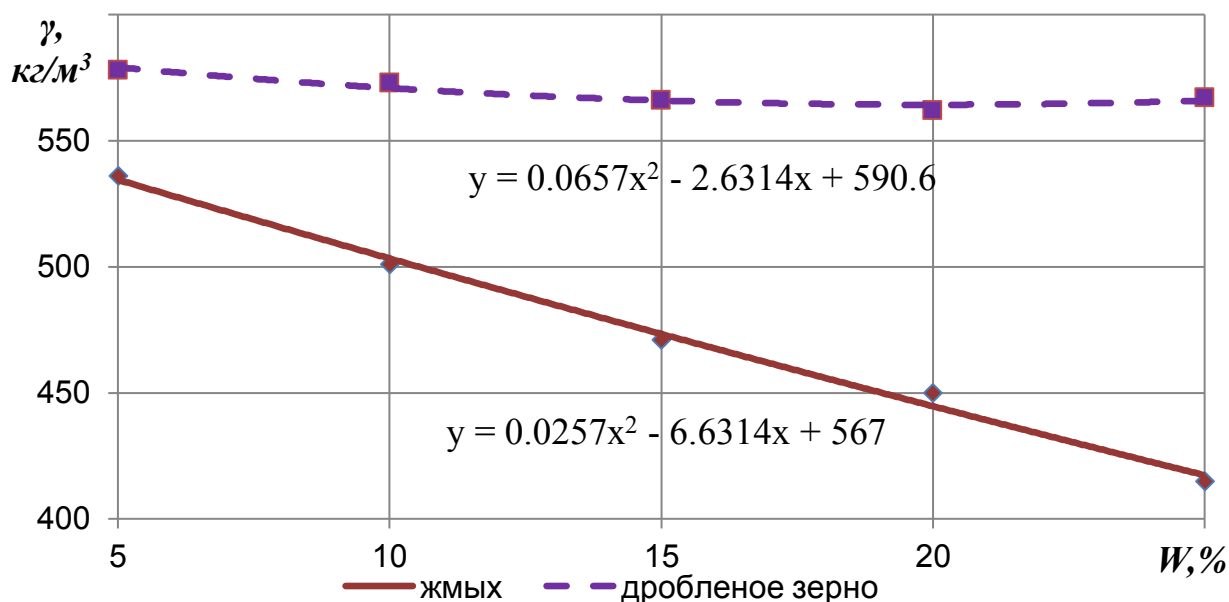


Рисунок 4.5 – Графическое отображение влияния влажности на объемную массу ППКП.

Зависимость объемной массы дробленого кукурузного зерна близка к линейной. Изменение влажности с 5 до 25% влечет за собой уменьшение объемной массы

зерна кукурузы с 578 до 567 кг/м³. Незначительное изменение объемной массы дробленого зерна связано с его гигроскопичностью и высоким содержанием крахмала. В результате это дает поглощение влаги с одновременным набуханием зерна и увеличением его объема [53].

В большей мере сказывается изменение влажности на объемную массу кукурузного жмыха из-за его высокой гигроскопичности. Характер зависимости влияния следует отнести к линейной. При изменении влажности с 5 до 25 % объемная масса жмыха уменьшается от 536 до 415 кг/м³.

4.1.6 Влияние влажности на угол естественного откоса ППКПП

Результаты экспериментального исследования влияния влажности (W) на угол естественного откоса (φ) кукурузного дробленого зерна и жмыха приведены в приложении В, таблица В.3. На основании полученных данных представлено графическое отображение исследуемого влияния (рис. 4.6).

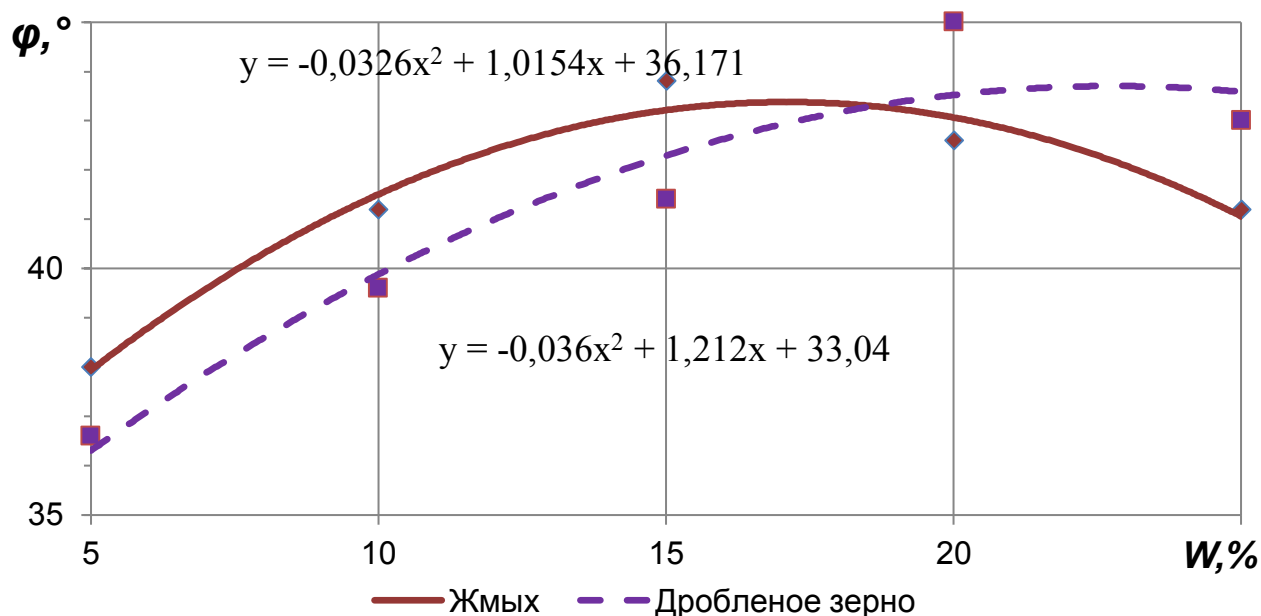


Рисунок 4.6 – Графическое отображение влияния влажности на угол естественного откоса ППКПП.

Анализируя данное графическое отображение (рис. 4.6) следует, что при повышении влажности с 5 до 25 % угол естественного откоса жмыха изменяется от 38,0° до 43,8°, с явно выраженным экстремумом. Максимум угла естественного откоса 43,8° достигается при влажности 15%. При изменении влажности с 10 до 20% происходит насыщения влагой кукурузного жмыха и достигается максимальное

значение внутреннего трения. При увеличении влажности более 20% сила внутреннего трения уменьшается.

При увеличении влажности в исследуемом диапазоне угол естественного откоса дробленого зерна увеличивается с $36,6^\circ$ и достигает максимума 45° при – 20%. Следует отметить, что в данном случае оболочка зерна разрушена, и крахмал беспрепятственно, поглощает влагу насыщаясь при этом. При влажности 20 % происходит его клейстеризация, что обеспечивает максимальные значения внутреннего трения и угла естественного откоса. Дальнейшее увеличение влажности способствует разжижению крахмала и уменьшению внутреннего трения [53].

4.1.7 Влияние влажности на коэффициенты трения ВКК

Полученные результаты исследований, влияния влажности ВКК представлены в приложениях В, таблицы В.4 и В.5. На основании полученных числовых значений угла наклона пластины с исследуемым материалом и последующего определения коэффициентов трения по выражениям (3.9) и (3.10) представлено графическое отображение (рис. 4.7). Используемые для исследования материалы – сталь 45 ГОСТ 1050–88 (рис. 4.7А) и – 08Х13 ГОСТ 56532–72 (рис. 4.7Б).

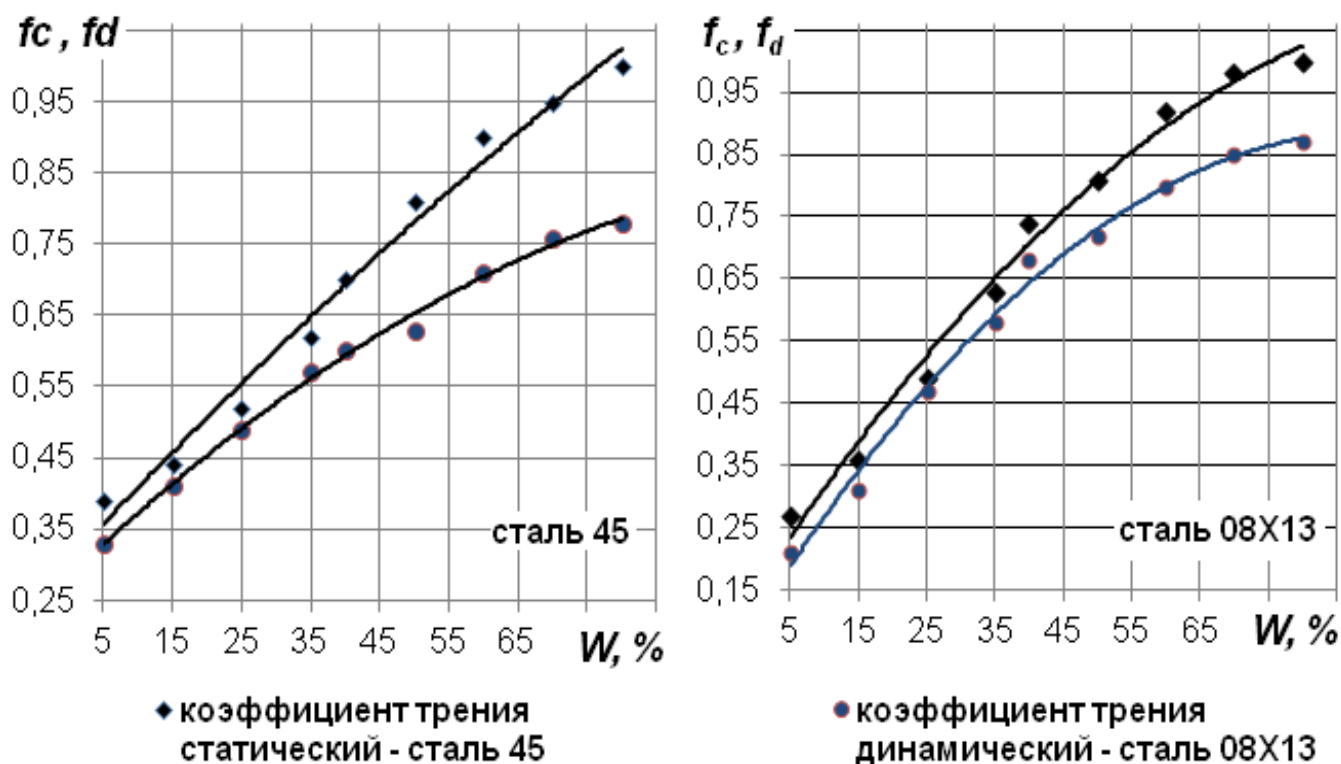


Рисунок 4.7 – Графическое отображение влияния влажности на коэффициенты трения ВКК.

Приготовление образцов ВКК с влажностью от 5 до до 80% изложено в разделе 4.1.3.

Анализируя зависимость коэффициентов трения ВКК по сталь 45 ГОСТ 1050–88 (рис. 4.7А) следует отметить, что при повышении влажности ВКК его коэффициенты повышаются, статистический (f_c) – с 0,39 до 1,0, динамический (f_d) – с 0,33 до 0,78. Зависимости коэффициентов трения ВКК по стали 08Х13 ГОСТ 56532–72 (рис. 4.7Б) аналогичны предыдущим. При изменении влажности с 5 до 80% коэффициенты трения СКК увеличиваются, статистический (f_c) – с 0,27 до 1,0, динамический (f_d) – с 0,21 до 0,87. Следует отметить, что значения коэффициентов трения по стали 08Х13 меньше чем по стали 45. Повышение коэффициентов трения ВКК при изменении влажности с 5 до 80% возможно объяснить наличием остаточного крахмала в ОКМ (до 11%), который при наличии свободной влаги насыщается и обеспечивает клеящие свойства.

4.1.8 Влияние влажности на теплофизические свойства СКЭ и ВКК

В исследовании использовали СКЭ с влажностью от 50 до 95%. В соответствии с методикой исследования изложенной в раздел 3.2.7 были установлены численные значения теплоемкости (c), коэффициентов теплопроводности (λ) и температуропроводности (a) СКЭ при различных значениях его влажности. На основании полученных результатов на рисунке 4.8 представлено графическое отображение влияния влажности на теплофизические свойства СКЭ.

Анализ представленной зависимости (рис. 4.8) показал, что значения исследуемых теплофизических свойств с увеличением влажности повышаются.

При повышении влажности с 50 до 90 % происходит увеличение удельной теплоемкости с $2,55 \times 10^3$ до $4,27 \times 10^3$ Дж/(кг·°К), коэффициентов температуропроводности и теплопроводности с $1,18 \times 10^{-7}$ 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 [232].

Резкое повышение значений коэффициентов температуропроводности и теплопроводности при повышении влажности с 90 до 95% связан с насыщением ВКК и появлением свободной воды.

Диапазон изменения влажности ВКК составлял от 20 до 90%. В соответствии с методикой (раздел 3.2.7) аналогично предыдущему определяли численные значения теплоемкости (c), коэффициентов теплопроводности (λ) и температуропроводности (a) ВКК при различных значениях его влажности. На основании полученных результатов (приложение Г, таблица Г.1) на рисунке 4.9 представлено графическое отображение влияния влажности на теплофизические свойства ВКК.

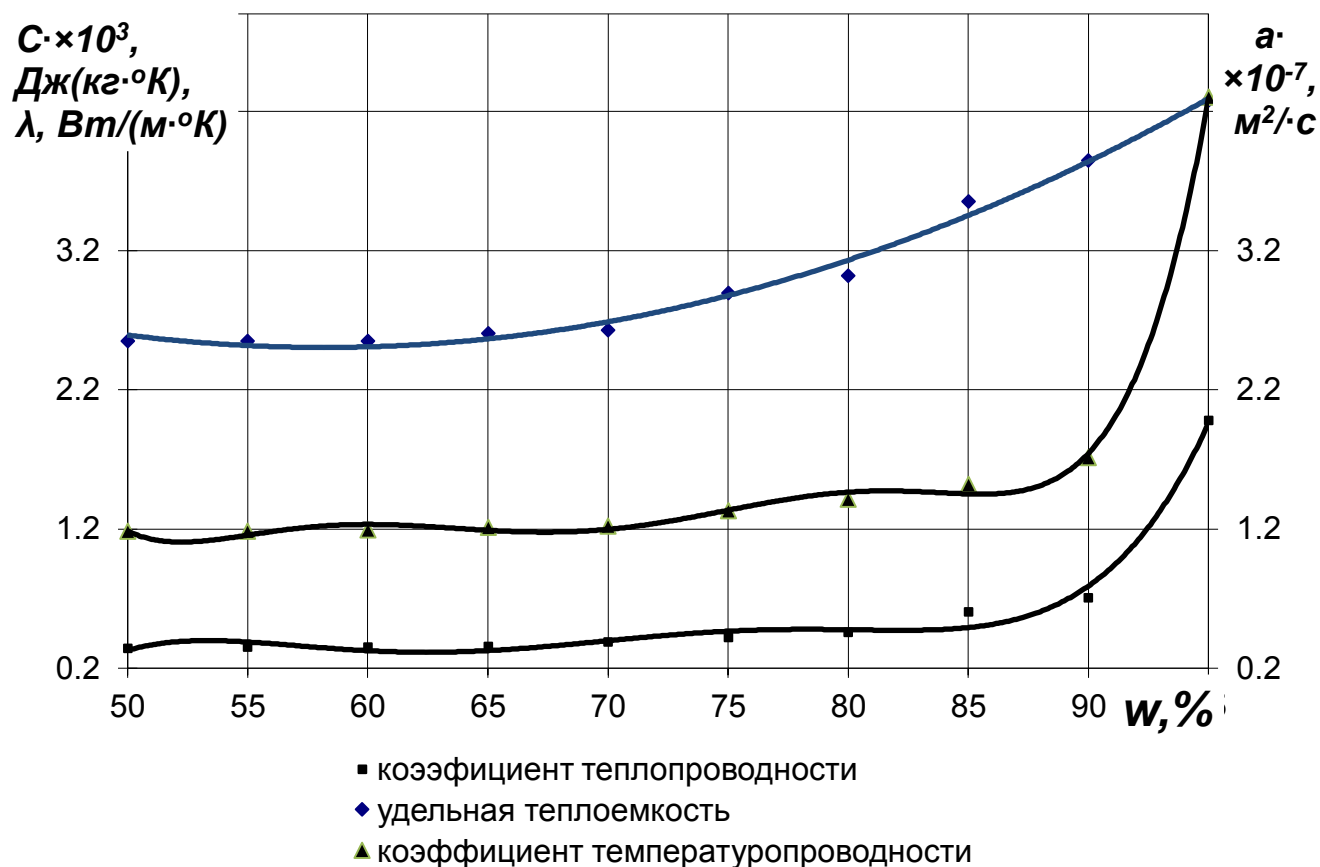


Рисунок 4.8 – Графическое отображении влияния влажности на теплофизические свойства СКЭ.

Анализируя полученные зависимости (рис. 4.9) очевидно, что при повышении влажности ВКК с 20 до 90% значения его удельной теплоемкости, а так же коэффициенты теплопроводности и теплоемкости увеличиваются. Характер представленных зависимостей можно считать близким к линейному. Изменение значений удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности и температуропроводности связано с порозностью ВКК. Поэтому при увеличении доли воды в ВКК исследуемые показатели плавно повышаются. В результате установили, что при повышении влажности ВКК в исследуемом диапазоне его удельная теплоемкость увеличилась с $2,30 \times 10^3$ до $4,01 \times 10^3$ Дж/(кг·°К), коэффициенты

теплопроводности и температуропроводности с 0,28 до 0,57 Вт/(м·°К) и с $0,26 \times 10^{-7}$ до $1,30 \times 10^{-7}$ м²/с, соответственно.

Знание конкретных численных значений искомым теплофизических показателей СКЭ позволяют исследовать и описать теоретически процессы сгущения, нагревания и нейтрализации его кислотности, а также позволяют определять оптимальные и рациональные параметры технических средств применяемые в разработанной технологии.

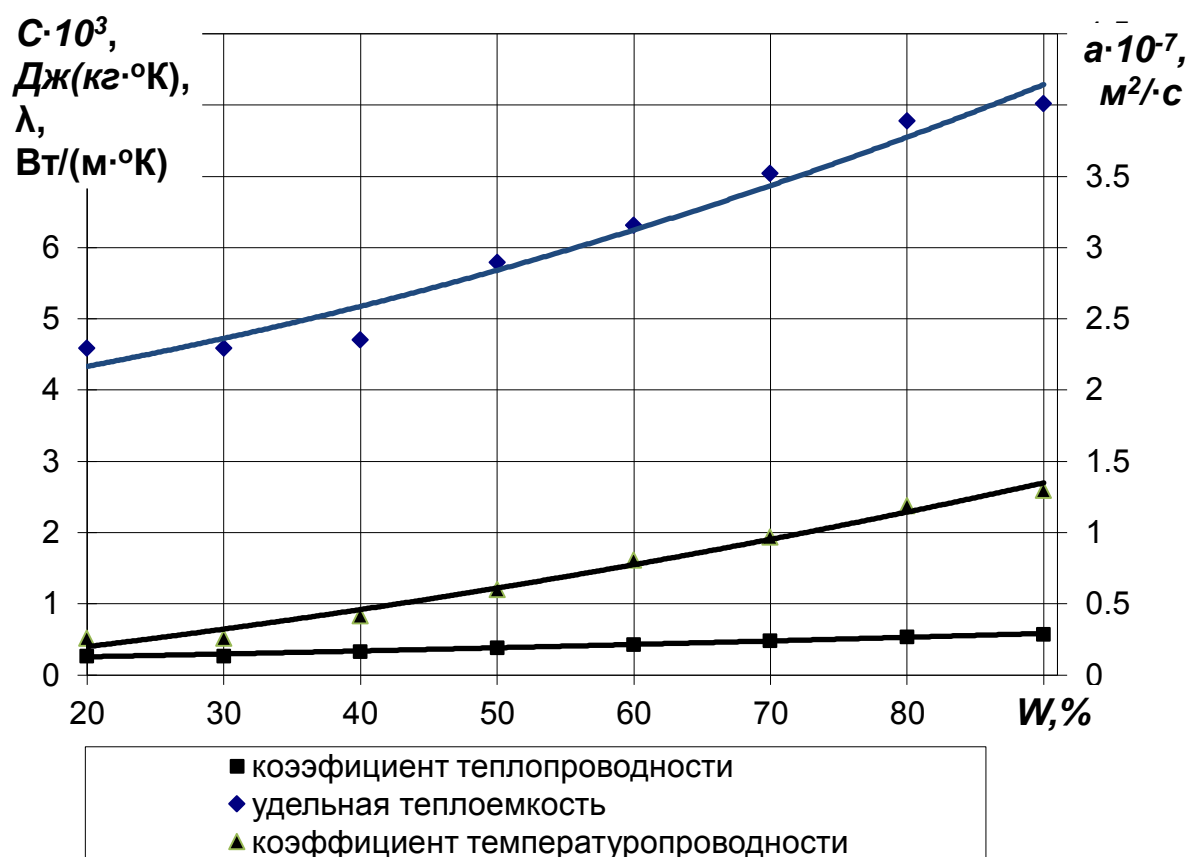


Рисунок 4.9 – Графическое отображение влияния влажности на теплофизические свойства ВКК.

Полученные результаты численных значений исследуемых теплофизических свойств ВКК и их зависимость от влажности позволят определять технологические параметры при его обезвоживании, определении параметров сушилок и других применяемых технических средств.

4.2. Результаты экспериментальных исследований процессов нагревания и нейтрализации кислотности СКЭ

Экспериментальные исследования процессов нагревания и нейтрализации кислотности СКЭ и обоснование рациональных параметров макета нейтрализатора проводили по методикам, изложенным в разделе 3.3.2, на лабораторной установке

(рис. 3.11) совместно с аспирантом ФГОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» М.А. Коньковым [103, 120, 121, 154, 162, 185, 204].

В данных исследованиях использовали СКЭ с исходной температурой 30°C и влажностью 58%.

4.2.1. Влияние толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора на время нагревания СКЭ

Для обеспечения толщины стенки 0,001; 0,0015 и 0,002 м макета нейтрализатора СКЭ использовали сменные внутренние цилиндры (рис. 3.10)

Нагревание СКЭ осуществляли путем приготовления раствора реагентов во внутреннем цилиндре макета нейтрализатора, в соответствии с разработанным способом приготовления ВКК (раздел 2.1)

В результате экспериментальных исследований были получены числовые значения времени (T) и температуры нагревания (t) СКЭ в зависимости от толщины стенки (приложение Д, таблица Д.1), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.10).

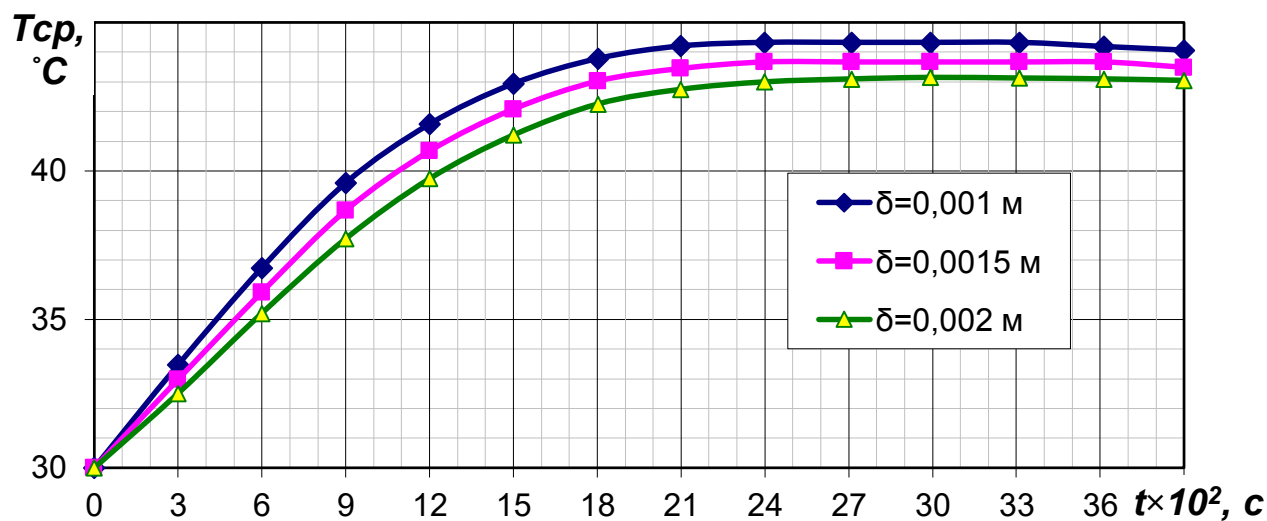


Рисунок 4.10 – Графическое отображение влияния толщины стенки внутреннего цилиндра на время и температуру нагревания СКЭ.

Анализ полученного графического отображения влияния толщины стенки на время и температуру нагревания СКЭ (рис. 4.10) показал следующее. Характер полученных зависимостей аналогичен. Первоначально происходит нагревание СКЭ, затем наступает стабилизация температуры и ее снижение. Интенсивное нагревание

соответствует интервалу времени от начала химической реакции приготовления раствора реагентов до достижения СКЭ максимальной температуры. Процессы нагревания и охлаждения СКЭ проходят параллельно. Поэтому толщина стенки оказывает существенное влияние, как на время, так и на максимальную температуру нагревания СКЭ.

В результате данных экспериментальных исследований установлено следующее.

Для толщины стенки 0,001 м максимальные значения температуры и времени нагревания СКЭ составляют 2400 с и 44,3°C, период стабилизации температуры составляет 912 с.

Для толщины стенки 0,0015мм максимальные значения температуры и времени нагревания СКЭ составляют 2400 с и 43,7°C, период стабилизации температуры составляет 1218 с.

Для толщины стенки 0,002 м максимальные значения температуры и времени нагревания СКЭ составляют 2700 с и 43,1°C, период стабилизации температуры составляет 1200 с.

Таким образом, очевидно, что толщина стенки максимальное влияние оказывает на температуру нагревания.

Для нашего случая, период стабилизации максимальной температуры нагрева СКЭ является значимым, так как он определяет время процесса нейтрализации кислотности.

4.2.2 Влияние подачи насоса на время нагревания СКЭ в нейтрализаторе

Исследования выполняли на лабораторной установке(рис.3.10), описанной в разделе 3.3.1 (рис.10). Предварительно в макет нейтрализатора (рис. 3.8) установили внутренний цилиндр с толщиной стенки 1мм.

Диапазон изменения подачи насоса нейтрализатора был обоснован в разделе 3.2.2 и составил от $6,3 \times 10^{-6}$ до $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, с интервалом изменения – $2,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Нагревание СКЭ осуществляли путем приготовления раствора реагентов во внутреннем цилиндре макета нейтрализатора, в соответствии с разработанным способом приготовления ВКК (раздел 2.1).

На основании результатов исследования (приложение Д, таблица Д.2) представлено графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на время (t) и температуру (T) нагревания СКЭ (рис. 4.11).

На основании представленной зависимости (рис. 4.11) при подаче насоса $6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ время нагрева СКЭ до максимально возможной температуры $44,6^\circ\text{C}$ составило 2100 с. При этом время стабилизации максимальной температуры 900 с. Подаче насоса $8,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ соответствует время нагрева СКЭ до максимально возможной температуры $44,0^\circ\text{C}$ составило 1800 с, длительность стабилизации – 1200 с. Подаче насоса $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ соответствует время нагрева СКЭ до максимально возможной температуры $43,4^\circ\text{C}$ составило 2100 с длительность стабилизации 900 с.

Подачи насоса оказывает значительное влияние на время стабилизации температуры после нагрева в нейтрализаторе. При подаче насоса $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ время стабилизации температуры составило 900с, при $10,3 \times 10^{-6}$ и $8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ – 1200 с. Данное явление следует из того что увеличение подачи насоса до $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ сопряжено с интенсивным охлаждением СКЭ, за счет увеличения кратности его циркуляции.

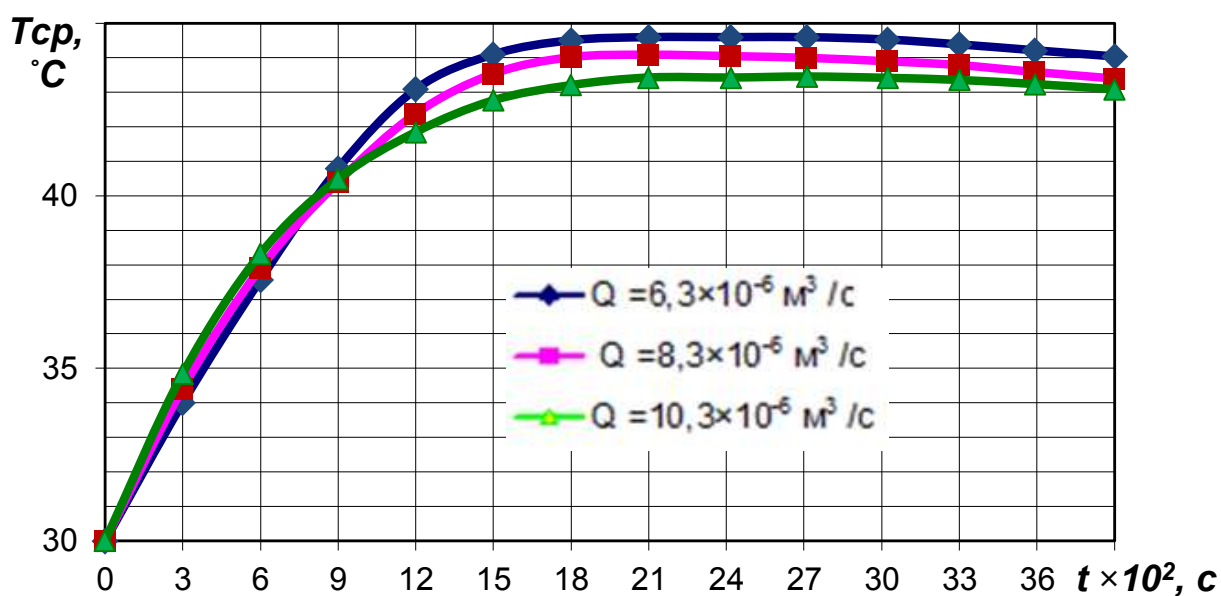


Рисунок 4.11 – Графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на время и температуру нагревания СКЭ.

4.2.3 Влияние подачи насоса на процесс нейтрализации кислотности СКЭ

Данное исследование проводили аналогично предыдущему (раздел 4.2.2). Исходное значение pH СКЭ составляло 3,9. В результате по полученным данным

(приложение Д, таблицы Д.3 и Д.4) представлено графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на времени нейтрализации (t) и pH СКЭ (рис. 4.12).

Анализ графического отображения (рис.4.12) показал, что полученные кривые имеют аналогичный характер и имеют смещение по оси абсцисс.

В соответствии с характером кривых прослеживается два этапа повышения pH и стабилизации. На первоначальном этапе pH практически не меняет своего значения, это происходит из-за недостатка реагента в СКЭ. Затем наблюдаем резкое повышение pH, это характерно для частичной нейтрализации кислотности. Далее pH стабилизируется на 240..300 с, на данном этапе в химической реакции образуется буферный эффект. При дальнейшем увеличении концентрации раствора реагентов в СКЭ буферный эффект преодолевается и происходит дальнейшее повышение pH до полного завершения химической реакции.

Во всем диапазоне изменения подачи насоса обеспечивается повышение pH от исходного 3,9 значения до требуемого 6,3. Буферный эффект наблюдается при pH 4,6...5,4. Основное влияние подача насоса оказывает на время нейтрализации СКЭ. При подаче $10,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ время нейтрализации составляет 1200 с, при $8,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ – 1320 с, при $6,3 \cdot 10^{-6}$ – 1440 с.

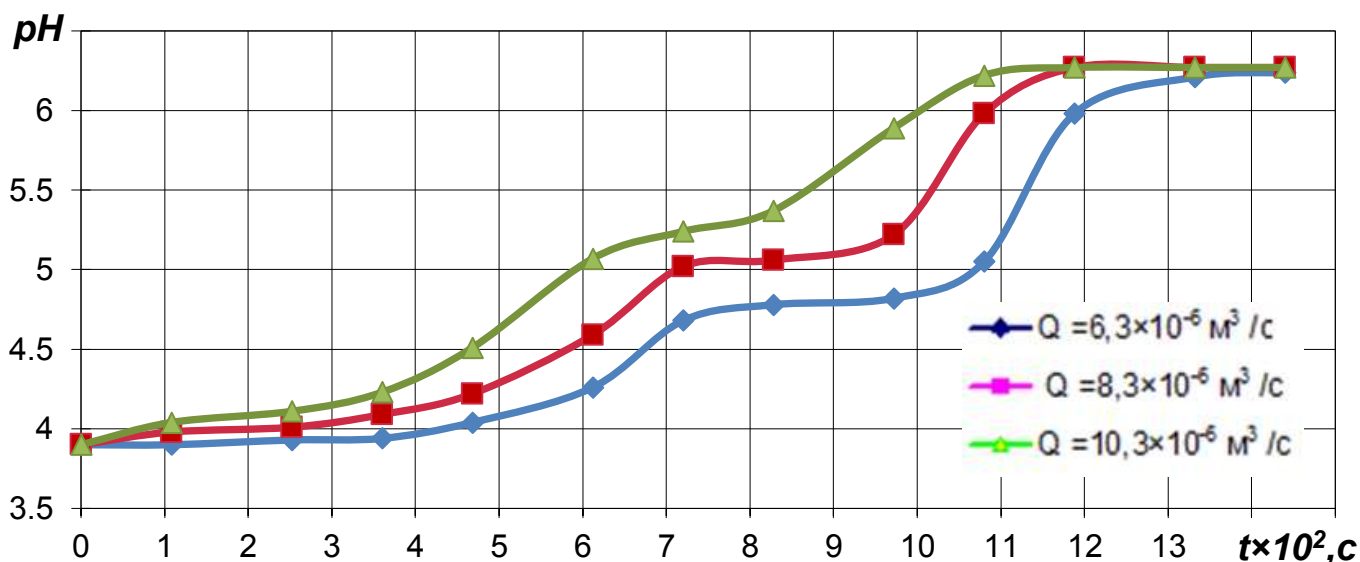


Рисунок 4.12 – Графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на времени нейтрализации и pH СКЭ.

Таким образом, можно сделать заключение, время нейтрализации определяется интенсивностью смешивания раствора реагентов с СКЭ.

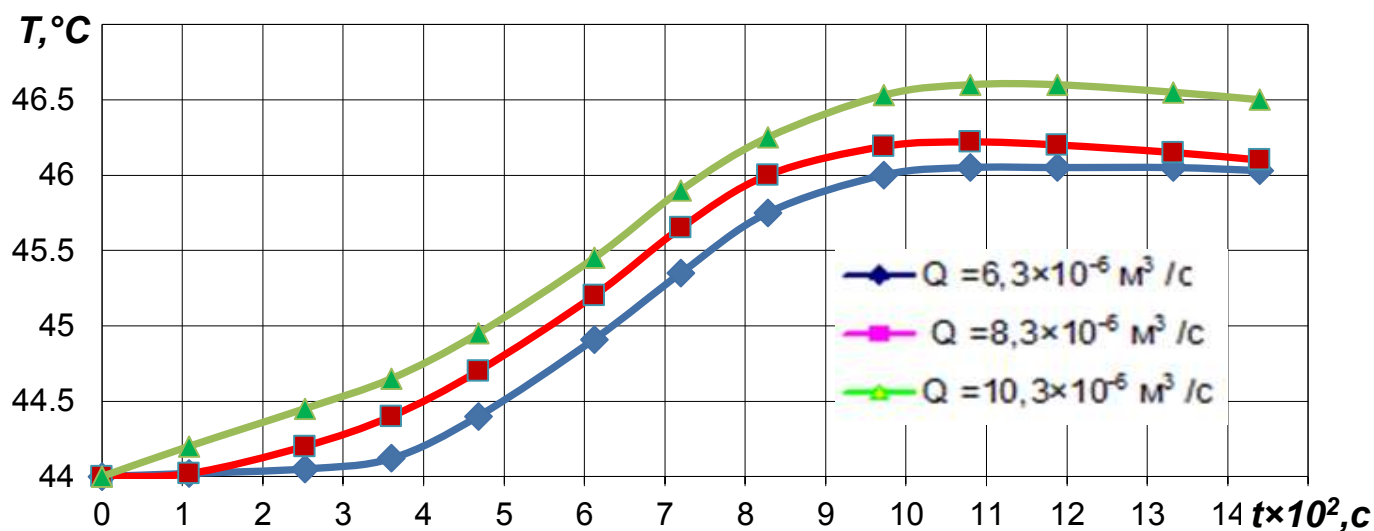


Рисунок 4.13 – Графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на время и температуру СКЭ при его нейтрализации.

В идеальном случае время нейтрализации и период стабилизации температуры нагревания СКЭ (раздел 4.2.2) должны быть равны. При выполнении этого условия физико-механические свойства СКЭ будут наиболее благоприятные для его смешивания с раствором реагентов и протекания химических реакций. Равномерное распределение раствора реагентов в СКЭ позволит избежать местного перегрева и образования комков.

В теоретических исследованиях (главе 2) было установлено, что после процесса нагревания температура СКЭ дополнительно повышается за счет экзотермической химической реакции взаимодействия раствора реагентов с органическими кислотами. Для подтверждения этого был проведен эксперимент.

На рисунке 4.14 представлено графическое отображение влияния подачи насоса нейтрализатора на время (t) и температуру СКЭ при его нейтрализации.

Графические зависимости (рис. 4.13) имеют аналогичный характер, и отражают изменение рН (рис 4.12). Повышение температуры в отличие от рН происходит равномерно в один этап. По изменению температуры на графическом изображении отсутствует подтверждение буферного эффекта. Это происходит из-за того что нагревание СКЭ занимает больше времени, чем изменения рН. Кроме того сглаживание буферного эффекта идет за счет потерь теплоты.

При подаче насоса $6,3 \cdot 10^{-6} m^3/c$ происходит дополнительное нагревание СКЭ до $45,9^\circ C$ за 1440 с; при подаче $8,3 \cdot 10^{-6}$ – до $46,4^\circ C$ за 1080 с и при подаче $10,3 \cdot 10^{-6} m^3/c$

– 46,6 °С за 1080 с. Таким образом установлено, что температура СКЭ при его нейтрализации дополнительно повышается на 2,0...2,6°С, в зависимости от подачи насоса.

Данные экспериментальные исследования, раздел (4.2.1 – 4.23) показали, что принятые диапазон изменения факторов актуальны, поэтому принимаем их для дальнейшего исследования по обоснованию оптимальных режимных и конструктивных параметров.

4.2.4 Обоснование рациональных параметров нейтрализатора кислотности СКЭ

На основании разработанной матрицы (табл.3.1) проведены экспериментальные исследования по обоснованию нейтрализатора СКЭ, результаты которых представлены в таблице 4.1.

В результате обработки полученных данных (табл. 4.1) с помощью ПЭВМ используя программу «Mathematika 4.2» и оператора Fit [data, {базисные функции}, {переменные}] получили модели регрессии:

Времени нагревания СКЭ в нейтрализаторе

$$t = 0,3705 + 0,07x + 0,0033x^2 + 0,0009y + 4,5321 \times 10^{-17}xy + 0,0002y^2 - 0,0040z - 1,7327 \times 10^{-17}xz - 0,0006yz + 0,0010z^2 \quad (4.1)$$

где: $x = x_1$ - толщина стенки внутреннего цилиндра; $y = x_2$ – подача насоса нейтрализатора; $z = x_3$ – частота вращения мешалки.

Удельного расхода энергии нейтрализатора

$$N = 0,1862 + 0,120x - 0,0267x^2 + 0,0299y + 0,01xy + 0,0008y^2 - 0,1811z + 0,025xz - 0,0013yz + 0,0311z^2 \quad (4.2)$$

Перейдя к именованным величинам выражения (4.1) и (4.2) примут вид

$$t = 0,3705 + 0,07\delta + 0,0033\delta^2 + 0,0009Q + 4,5321 \cdot 10^{-17}\delta Q + 0,0002Q^2 - 0,0040n - 1,7327 \cdot 10^{-17}\delta n - 0,0006Qn + 0,0010n^2 \quad (4.3)$$

$$N = 0,1862 + 0,120\delta - 0,0267\delta^2 + 0,0299Q + 0,01\delta Q + 0,0008Q^2 - 0,1811n + 0,025\delta n - 0,0013Qn + 0,0311n^2 \quad (4.4)$$

Проверку адекватности моделей для определения времени нагревания СКЭ и затрачиваемой удельной энергии нейтрализатора проводили по критерию Фишера,

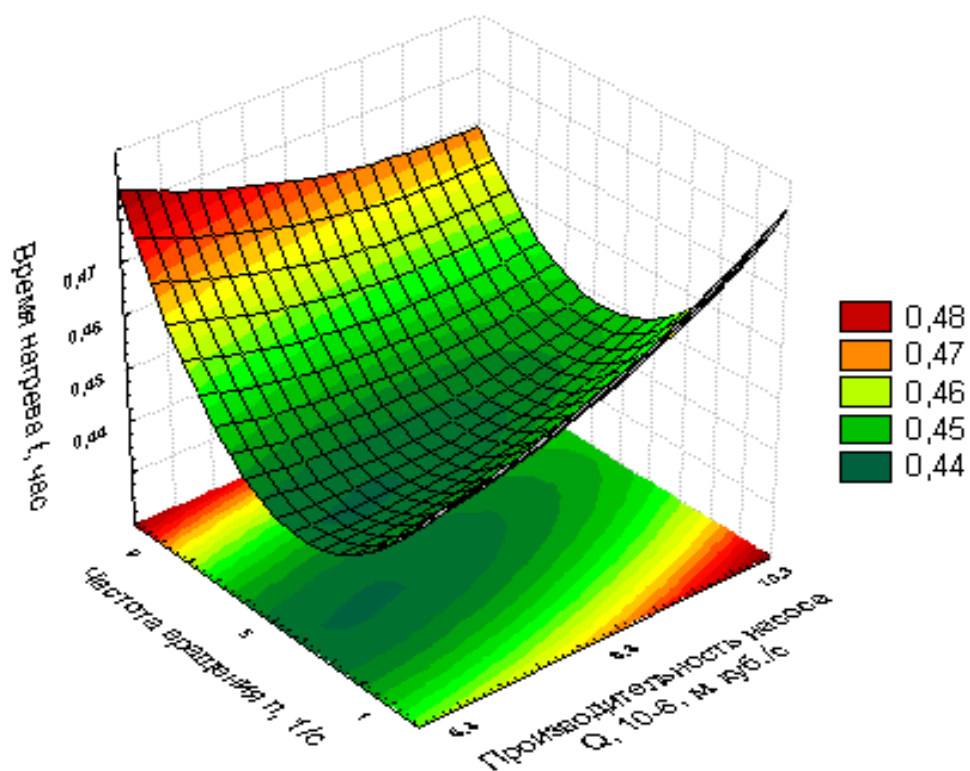
определив его опытные значения, и сравнили с табличными данными. Данные модели признаны адекватными и позволяют определять искомые величины.

Таблица 4.1 – Результаты экспериментального исследования процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе.

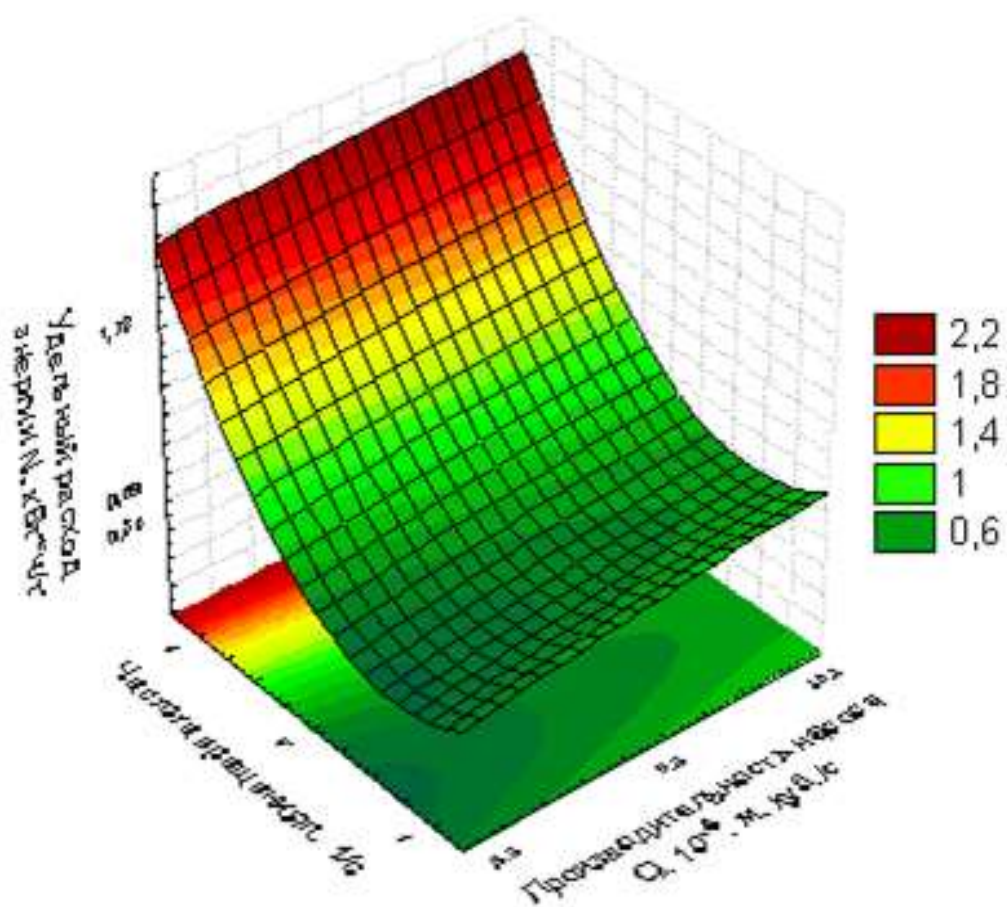
Уровни и интервалы варьирования	Толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора (δ), мм	Подача насоса нейтрализатора (Q), $\times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	Частота вращения лопастной мешалки (n), с^{-1}	Критерии оптимизации	
				Время нагревания СКЭ, (t), час	Удельный расход энергии нейтрализатора (N), кВт \times ч/т
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	+	+	0	0,53	0,75
2	-	-	0	0,44	0,43
3	+	-	0	0,52	0,51
4	-	+	0	0,45	0,63
5	+	0	+	0,54	1,84
6	-	0	-	0,46	0,41
7	+	0	-	0,54	0,49
8	-	0	+	0,46	1,56
9	0	+	+	0,50	1,81
10	0	-	-	0,49	0,34
11	0	+	-	0,50	0,56
12	0	-	+	0,51	1,63
13	0	0	0	0,48	0,58
14	0	0	0	0,49	0,58
15	0	0	0	0,48	0,59

Математические модели (4.1) и (4.2) дают возможность в заданных диапазонах изменения факторов определить числовые значения времени нагревания СКЭ и удельного расхода энергии.

На основании исследования полученных выражений с помощью ПЭВМ и программы «Statistica» представлены графические отображения частных сечений при фиксированных значениях факторов (приложение Г) и (рис. 4.14...4.16).

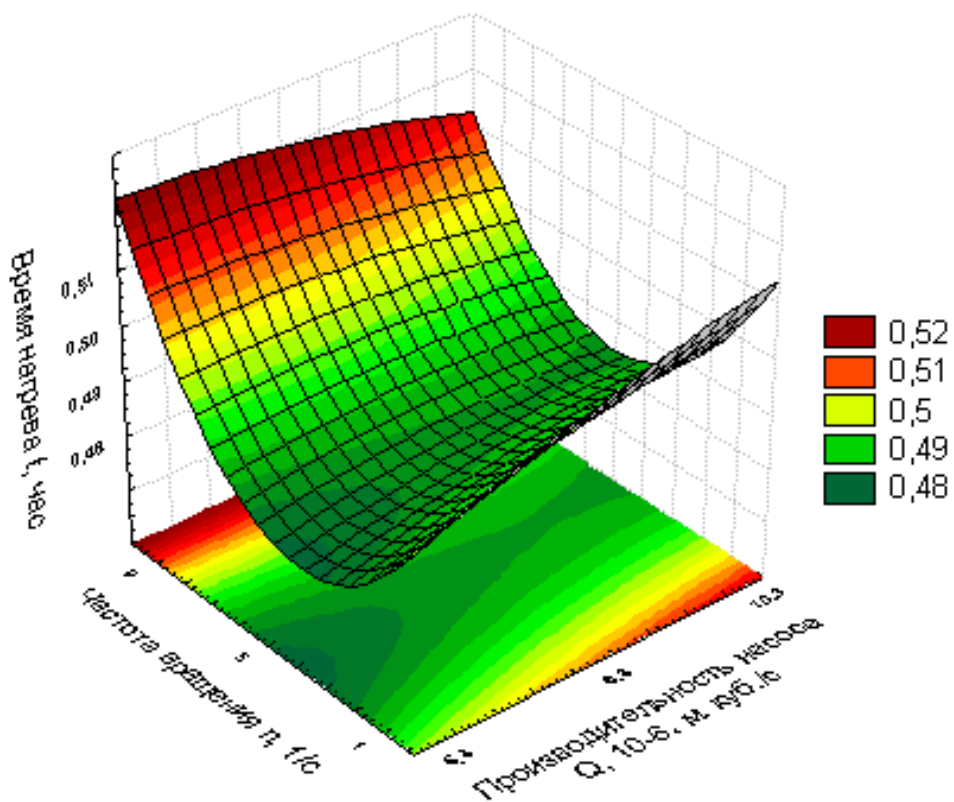


1.

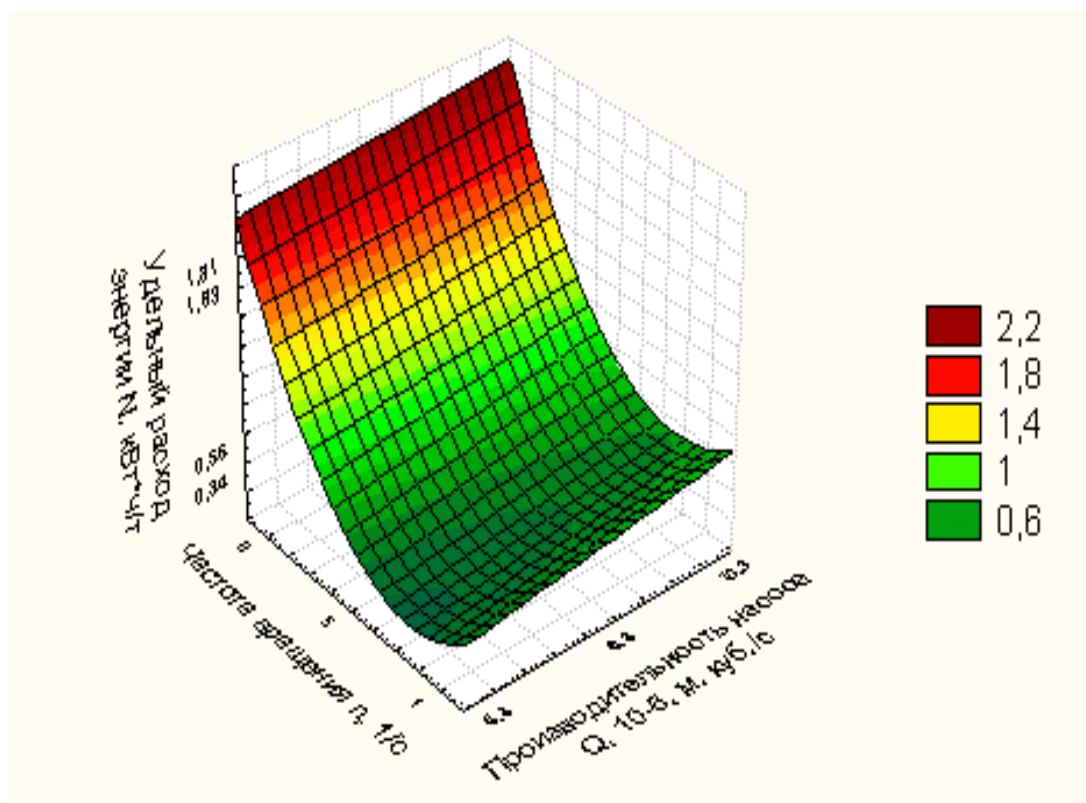


2.

Рисунок 4.14 – Графическое отображение влияния подачи насоса и частоты вращения мешалки нейтрализатора на время нагревания (1) и удельный расход энергии (2), при толщине стенки цилиндра 0,001м.

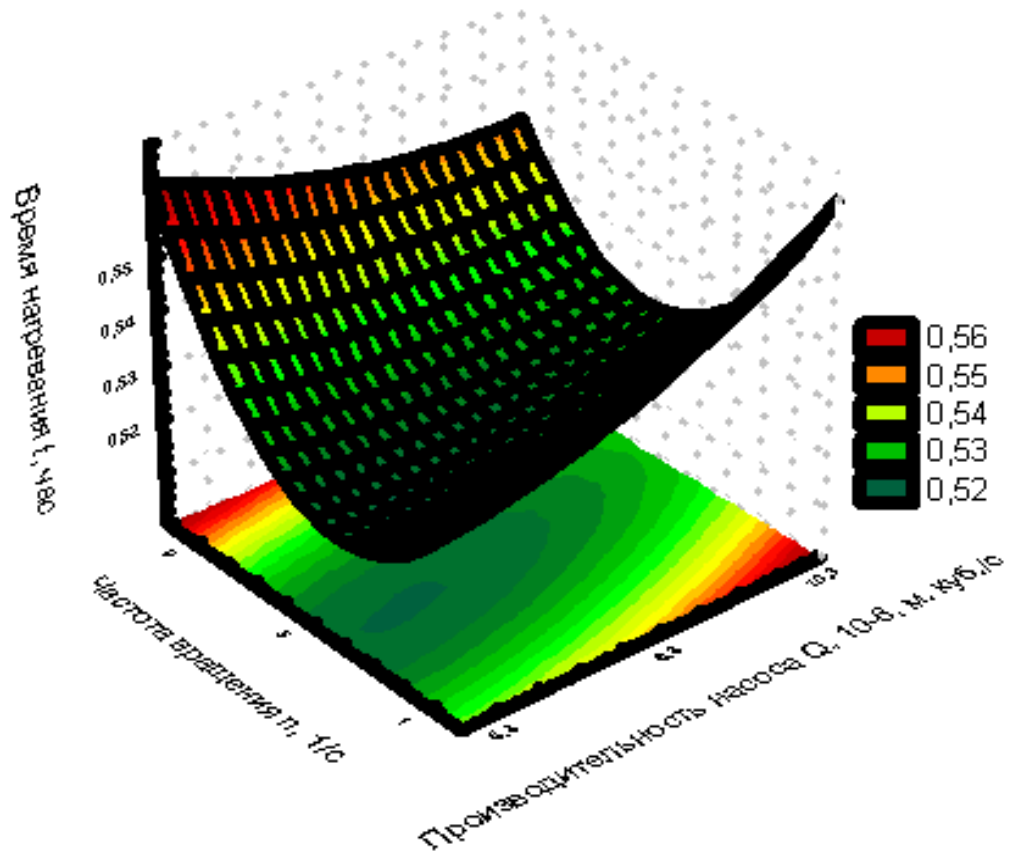


1.

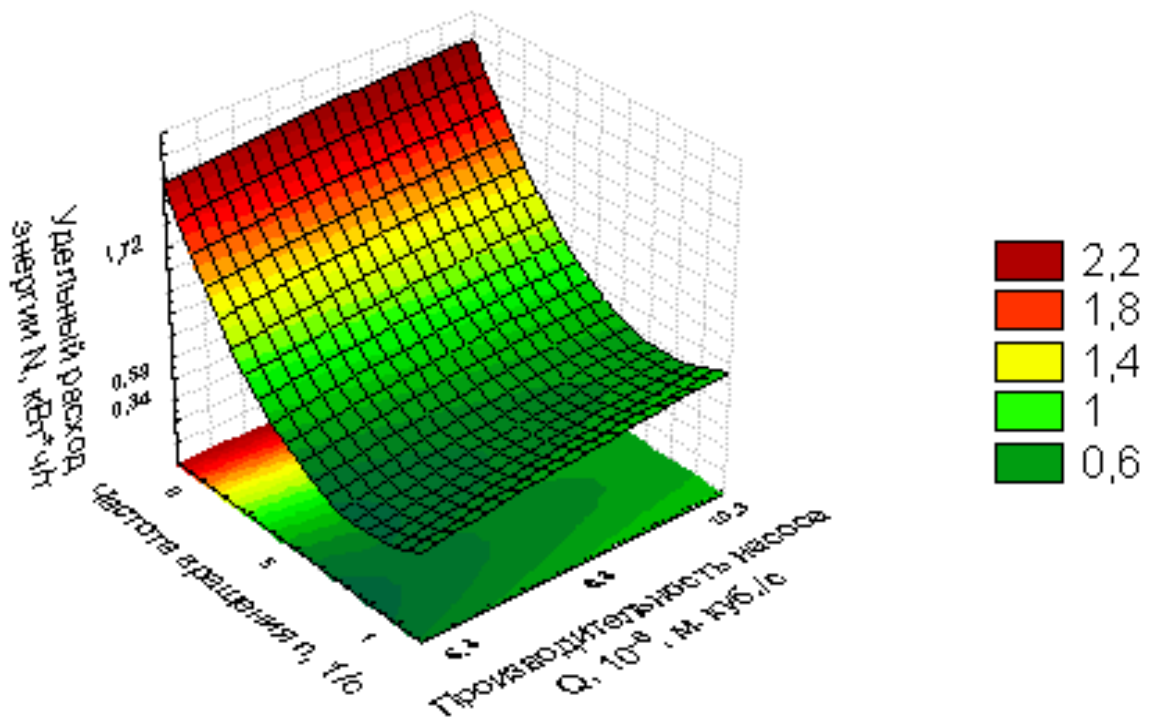


2.

Рисунок 4.15 – – Графическое отображение влияния подачи насоса и частоты вращения мешалки нейтрализатора на время нагревания (1) и удельный расход энергии (2), при толщине стенки цилиндра 0,0015 м.



1.



2.

Рисунок 4.16 – Графическое отображение влияния подачи насоса и частоты вращения мешалки нейтрализатора на время нагревания (1) и удельный расход энергии (2), при толщине стенки цилиндра 0,002 м.

Анализ графических отображений (приложение Г), показывает, что на время нагревание СКЭ и удельные затраты энергии в большей степени оказывает влияние толщина стенки и частота вращения мешалки.

Исходя из конструкции нейтрализатора кислотности, внутренний цилиндр несет значительные конструктивные нагрузки, возникающие из-за высокой плотности СКЭ.

Поэтому толщина стенка внутреннего цилиндра принятая от 0,001 до 0,002 м должна обеспечивать прочность конструкции нейтрализатора. В однофакторных экспериментах было установлено, что толщина стенки равная 1мм обеспечивает максимальную температуру нагревания СКЭ за минимальное время. Вероятно в дальнейшем при изготовлении опытного производственного образца нейтрализатора СКЭ, для обеспечения конструктивной прочности, толщину стенки внутреннего цилиндра следует увеличить.

На основании вышесказанного выполняли оптимизацию для всего диапазона изменения толщины стенки внутреннего цилиндра от 0,001 до 0,002м.

Оптимизацию полученных результатов исследования (приложение Г) проводили для выявления рациональных значений факторов обеспечивающих минимальные время нагревания СКЭ и удельный расход энергии.

Установлено, что в процессе нагревания СКЭ в нейтрализаторе с толщинами стенки внутреннего цилиндра 0,001; 0,0015; 0,002 м рациональные значения подачи насоса составляют от $6,3 \cdot 10^{-6}$ до $8,3 \cdot 10^{-6}$ м³/с, а частота вращения мешалки от 1,0 до 3,0 с⁻¹. Время нагревания и удельный расход энергии будут 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 мм; 1860...1920 с и $(8,6...12,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг при толщине стенки 0,002 м соответственно.

4.3 Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления ВКК

Приготовление ВКК заключается в смешивании ОКМ и СКЭ в соотношении 6,4:1.

Экспериментальные исследования процесса смешивания СКЭ и ОКМ, и обоснование рациональных параметров макета шнеко-лопастного смесителя проводили согласно методикам, изложенным в разделе 3.4.2, с применением

лабораторной установки (рис. 3.18) совместно с аспирантом ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» А. А. Полункиным [176, 177, 195, 196, 202, 211].

В качестве исследуемого материала использовали ОКМ с влажностью 60% и СКЭ – 58%. Температуру СКЭ при выполнении исследований поддерживали в диапазоне 35...40°C.

4.3.1 Влияние частоты вращения рабочего органа на производительность шнеко-лопастного смесителя

В результате экспериментальных исследований были получены числовые значения производительности (Q) в зависимости от частоты вращения рабочего органа(n) (приложение Д, таблицы Д.1), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.17).

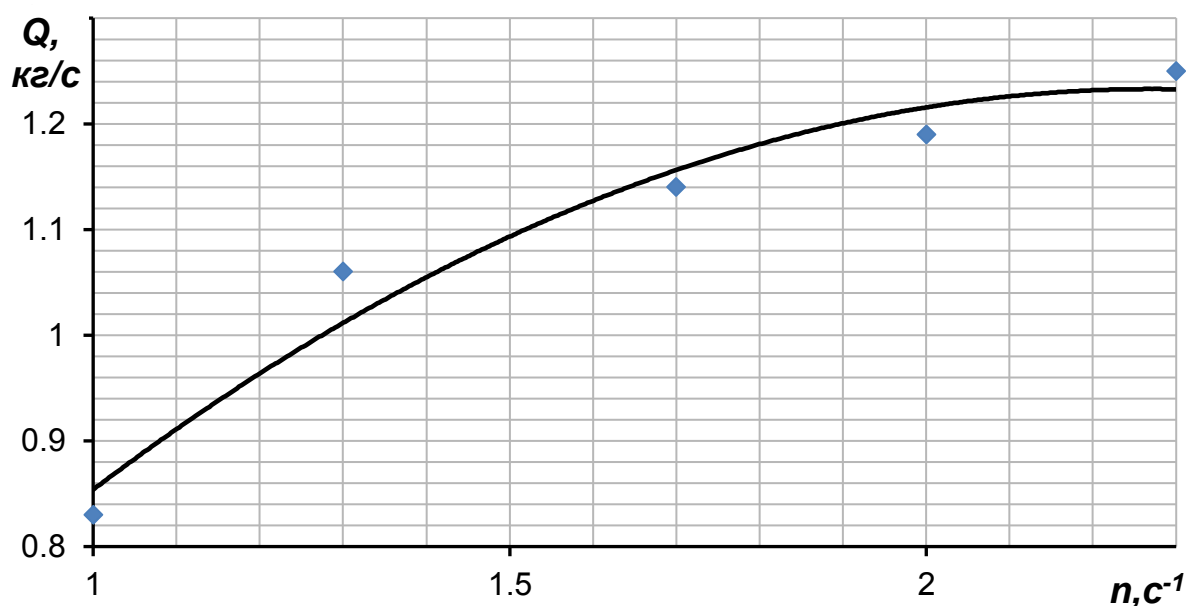


Рисунок 4.17 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа на производительность шнеко-лопастного смесителя.

Анализируя представленное графическое отображение (рис. 4.17) следует, что при повышении частоты вращения рабочего от 1,0 до 2,0 с^{-1} производительность смесителя увеличивается от 0,83 до 1,17 кг/с . Увеличение производительности в исследуемом диапазоне происходит не равномерно. В результате теоретических исследований установлено, что производительность шнеко-лопастного смесителя зависит от подачи ОКМ и СКЭ в зону смешивания. Подача СКЭ осуществляемая мембранным насосом и зависит от амплитуды колебания рабочего органа.

Увеличение производительности с 0,83 до 1,14 кг/с происходит при изменении частоты вращения от 1,0 до 2,0 с⁻¹, данное явление характерно для подобных конструкций смесителя со шнековым рабочим органом. В диапазоне с 2,0 до 2,3 с⁻¹ характер кривой изменяется, рост изменения производительности снижается. Данное явление объясняется разработанной конструкцией и наличием мембранного насоса с приводом от рабочего органа шнеко-лопастного смесителя.

4.3.2 Влияние массы груза возвратного устройства и частоты вращения рабочего органа на его амплитуду перемещения

В настоящем исследовании использовали лабораторную установку (рис. 3.18) предварительно установив возвратное устройство (рис. 3.17) на макет шнеко-лопастного смесителя.

В результате экспериментальных исследований при установленной массе груза возвратного устройства были получены числовые значения амплитуды колебаний (A) от частоты вращения (n) рабочего органа (приложение Д, таблица Д.3), на основании которых представлено графическое отображение на рисунке 4.19.

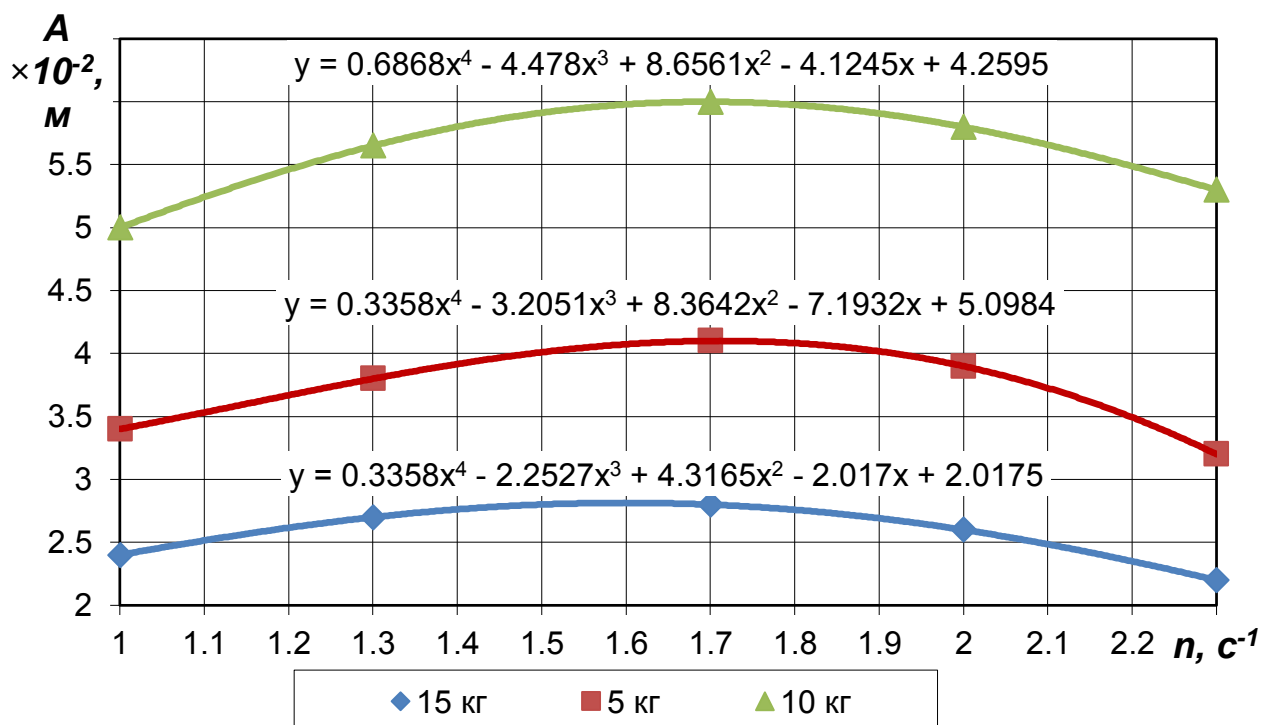


Рисунок 4.18 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа на его амплитуду колебаний.

На рисунке 4.18 представлена зависимость амплитуды колебания мембраны от частоты вращения рабочего органа при массе груза возвратного устройства

смесителя 5,0; 10,0 и 15,0кг. Характер представленных кривых аналогичен с выраженным экстремумом, при этом наблюдается их смещение относительно оси ординат.

Минимальные значения амплитуды колебания получено при массе груза 15,0кг. При изменении частоты вращения с 1,0 по 2,3 с⁻¹ амплитуда колебаний изменяется с 0,024 до 0,028 м, достигая возможного максимума в диапазоне 1,5...1,67 с⁻¹.

Средние значения амплитуды колебания получено при массе груза 5,0кг. При повышении частоты вращения от 1,0 до 1,7 с⁻¹ амплитуда колебаний увеличивается от 0,34 до 0,041м. Дальнейшее увеличение частоты вращения до 2,3 с⁻¹ снижает значение амплитуды до 0,033 м. Максимум амплитуды 0,041м достигается при частоте вращения 1,6...1,8 с⁻¹.

Максимальные значения амплитуды колебания получено при массе груза 10,0кг. При повышении частоты вращения от 1 до 1,7 с⁻¹ амплитуда колебаний повышается от 0,050 до 0,6 м. Дальнейшее увеличение частоты вращения до 2,3 с⁻¹ снижает значение амплитуды до 0,053мм. Максимум амплитуды 0,060 м достигается при частоте вращения 1,6...1,8 с⁻¹.

В дальнейших исследованиях в возвратном устройстве использовали груз 10 кг.

4.3.3 Влияние частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса СКЭ

Эксперименты по определению влияния частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса проводили с жиклерами имеющие размер отверстий 0,002; 0,004 и 0,006 м (рис. 3.15).

В результате экспериментальных исследований при установленных размерах отверстия жиклеров смешивающих лопастей груза были получены числовые значения подачи мембранного насоса (Q_n) в зависимости от частоты вращения (n) рабочего органа (приложение Д, таблица Д.2), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.19).

Анализируя полученные зависимости (рис. 4.19) следует отметить, что их характер ожидаемо, аналогичен предыдущим (рис. 4.18). Так как подача мембранного насоса зависит от амплитуды колебания рабочего органа.

Минимальные значения подачи мембранного насоса получено при диаметре отверстия жиклера 0,002 м. Увеличение частоты вращения от 1,0 до 1,8 с^{-1} обеспечивает изменение подачи мембранного насоса с 0,15 до 0,18 кг/с. Дальнейшее увеличении частоты до 2,3 с^{-1} подача мембранного насоса снижается до 0,09 кг/с. При частоте вращения от 1,5 до 1,8 с^{-1} подача мембранного насоса достигает максимального значения 0,18 кг/с.

Средние значение подачи мембранного насоса получено при диаметре отверстия жиклера 4,0мм. Увеличение частоты вращения с 1,0 до 1,8 с^{-1} обеспечивает изменение подачи от 0,18 до 0,22 кг/с. Дальнейшее увеличение частоты вращения до 2,3 с^{-1} уменьшают подачу насоса до 0,19. В диапазоне частоты вращения от 1,6 до 1,9 с^{-1} достигается максимальная подача мембранного насоса 0,22 кг/с.

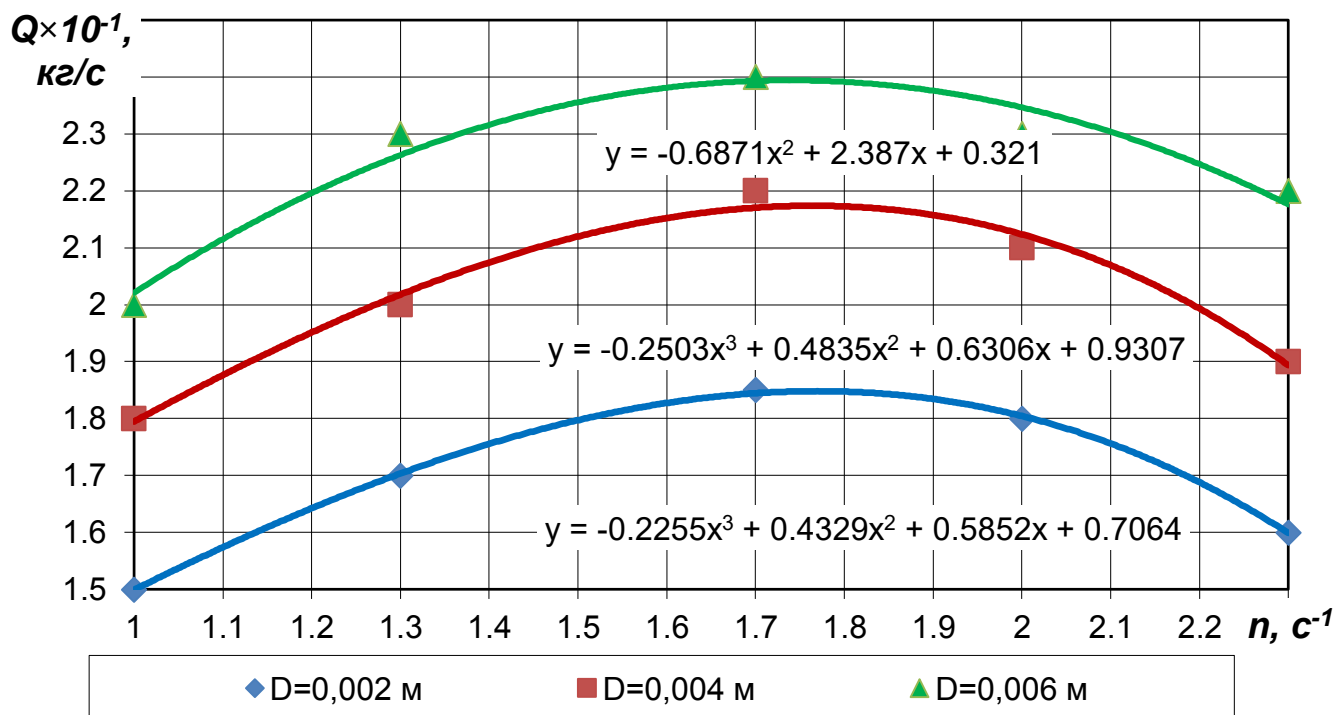


Рисунок 4.19 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса шнеко-лопастного смесителя.

Максимальные значения подачи мембранного насоса получено при диаметре отверстия жиклера 0,006 м. Изменение частоты вращения с 1,0 до 1,8 с^{-1} увеличивает подачу насоса с 0,20 до 0,24 кг/с. Дальнейшее увеличение частоты вращения до 2,3 с^{-1} снижает подачу мембранного насоса до 0,22 кг/с. При частоте вращения от 1,6 до 1,9 с^{-1} достигается максимальное значение подачи насоса 0,24 кг/с.

На основании результатов экспериментальных исследований (раздел 4.3.2 и раздел 4.3.2) установлено, что максимальная подача мембранного насоса обеспечивается при массе груза 60 мм и диаметра отверстия жиклеров 6мм. Характер полученных кривых (рис. 4.19) позволяет объяснить зависимость, представленную на рисунке 4.17. Снижение интенсивности возрастания производительности шнеко-лопастного смесителя (рис. 4.17) при повышении частоты с 1,8 до 2,3 с⁻¹ связано с уменьшением подачи мембранного насоса (рис. 4.19) в данном диапазоне.

4.3.4 Обоснование рациональных параметров шнеко-лопастного смесителя

На основании разработанной матрицы (табл.3.2) проведены исследования с целью определения рациональных параметров разработанного шнеко-лопастного смесителя. Численные значения, полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 4.2.

В результате обработки полученных данных (табл. 4.2) с помощью ПЭВМ используя программу «Mathematika 4.2» и оператора Fit [data, {базисные функции}, {переменные}] получили модели регрессии, которые представлены в именованных величинах для определения:

степени однородности ВКК

$$\Theta = 9,0 + 0,50625n - 0,0021875n^2 + 1,925nA - 0,015A^2 + 11,5d + 0,05Ad - 1,65625d^2 \quad (4.5)$$

удельного расхода энергии

$$N = 0,19375 - 0,0345n + 0,0002125n^2 + 0,09275A - 0,000125nA - 0,0007A^2 - 0,108125d + 0,0000625nd + 3,40931 \times 10^{-16}Ad \times 0,013125d^2 \quad (4.6)$$

Проверку адекватности моделей проводили по критерию Фишера, определив его опытные значения, и сравнили с табличными данными. Данные модели признаны адекватными и могут быть использованы для определения искомых величин.

Математические модели (4.5) и (4.6) дают возможность, в заданных диапазонах изменения факторов, определить числовые значения степени однородности ВКК и удельного расхода энергии.

На основании исследования полученных выражений с помощью ПЭВМ и программы «Statistica» представлены графические отображения частных сечений при фиксированных значениях факторов (приложение Е) и (рис. 4.20...4.22).

В результате анализа графических отображений (приложение Е рис.Е.1...рис.Е.3) влияния исследуемых факторов на процесс приготовления ВКК, при фиксированных значениях частоты вращения рабочего органа установлено:

Таблица 4.2 – Результаты экспериментального исследования шнеко-лопастного смесителя.

Уровень и интервал варьирования	Частота вращения рабочего органа (n), мин ⁻¹	Амплитуда колебаний мембраны (A), мм	Диаметр отверстия жиклеров (d), мм	Критерий оптимизации	
				Степень однородности смеси, (Θ), %	Удельный расход энергии ($N_{y\partial}$), кВт×ч/т
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	+	+	0	96	0,70
2	-	-	0	91	0,57
3	+	-	0	96	0,67
4	-	+	0	92	0,65
5	+	0	+	94	0,76
6	-	0	-	85	0,68
7	+	0	-	87	0,71
8	-	0	+	84	0,72
9	0	+	+	86	0,61
10	0	-	-	89	0,62
11	0	+	-	96	0,63
12	0	-	+	91	0,60
13	0	0	0	95	0,58
14	0	0	0	95	0,58
15	0	0	0	95	0,58

– при $1,3 \text{ с}^{-1}$ максимальная степень однородности ВКК составляет 92...94%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров от 0,003 до 00,0045м и амплитуды колебаний от 0,048 до 0,058 м;

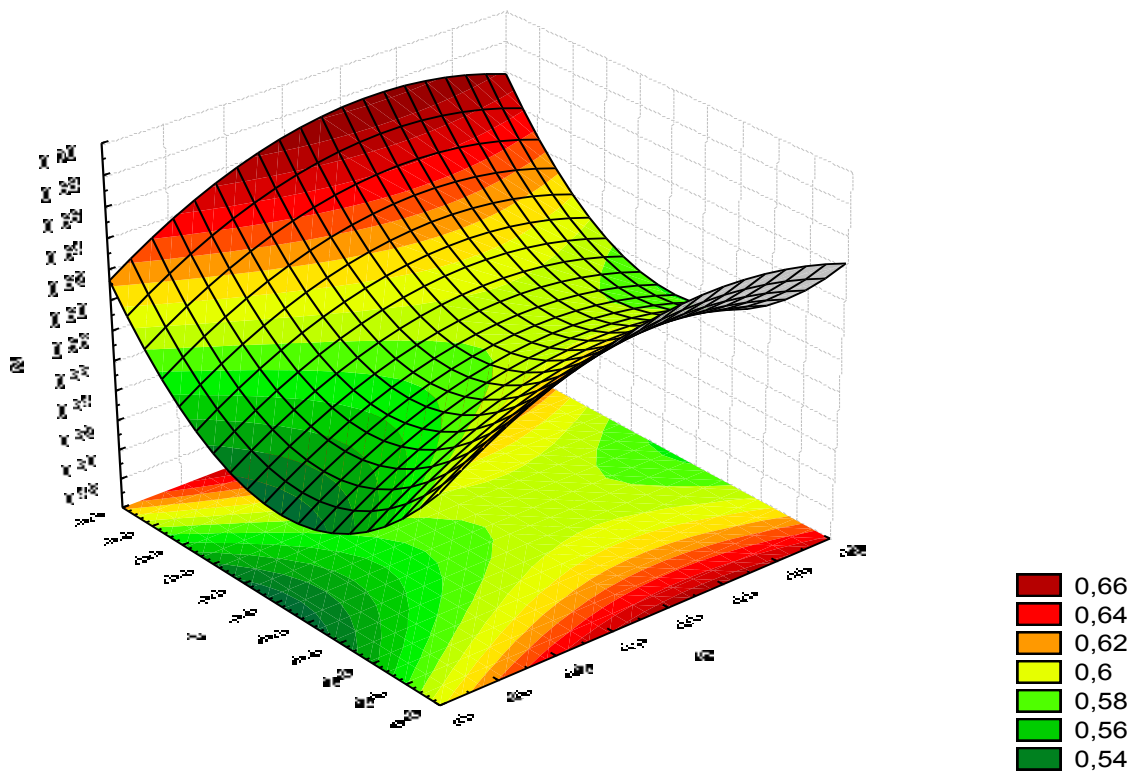
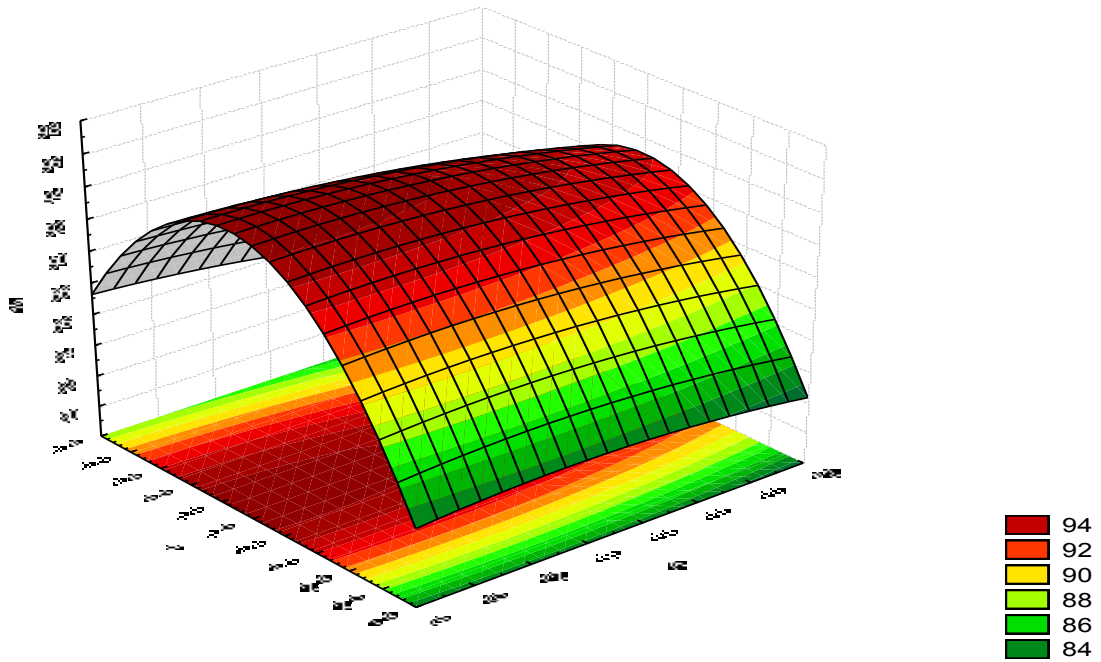


Рисунок 4.20 – Графическое отображение влияния амплитуды колебания рабочего органа и диаметра отверстий жиклеров на степень однородности ВКК (1) и удельные затраты энергии (2), при $n = 1,7 \text{ с}^{-1}$.

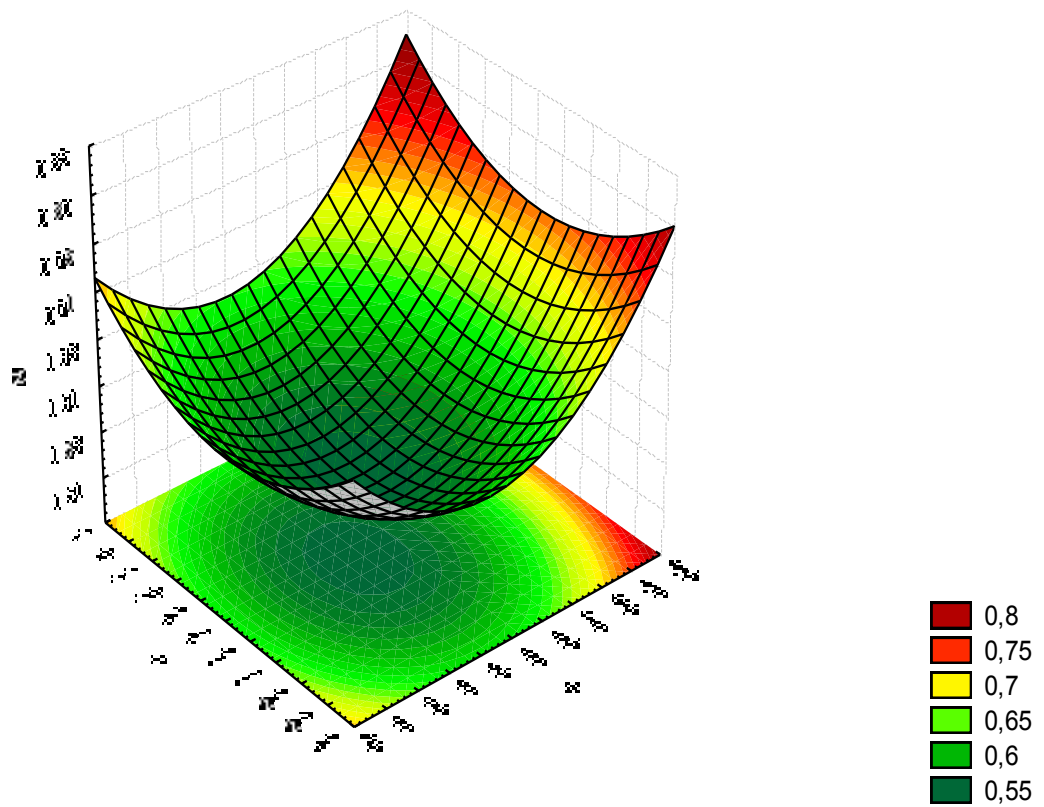
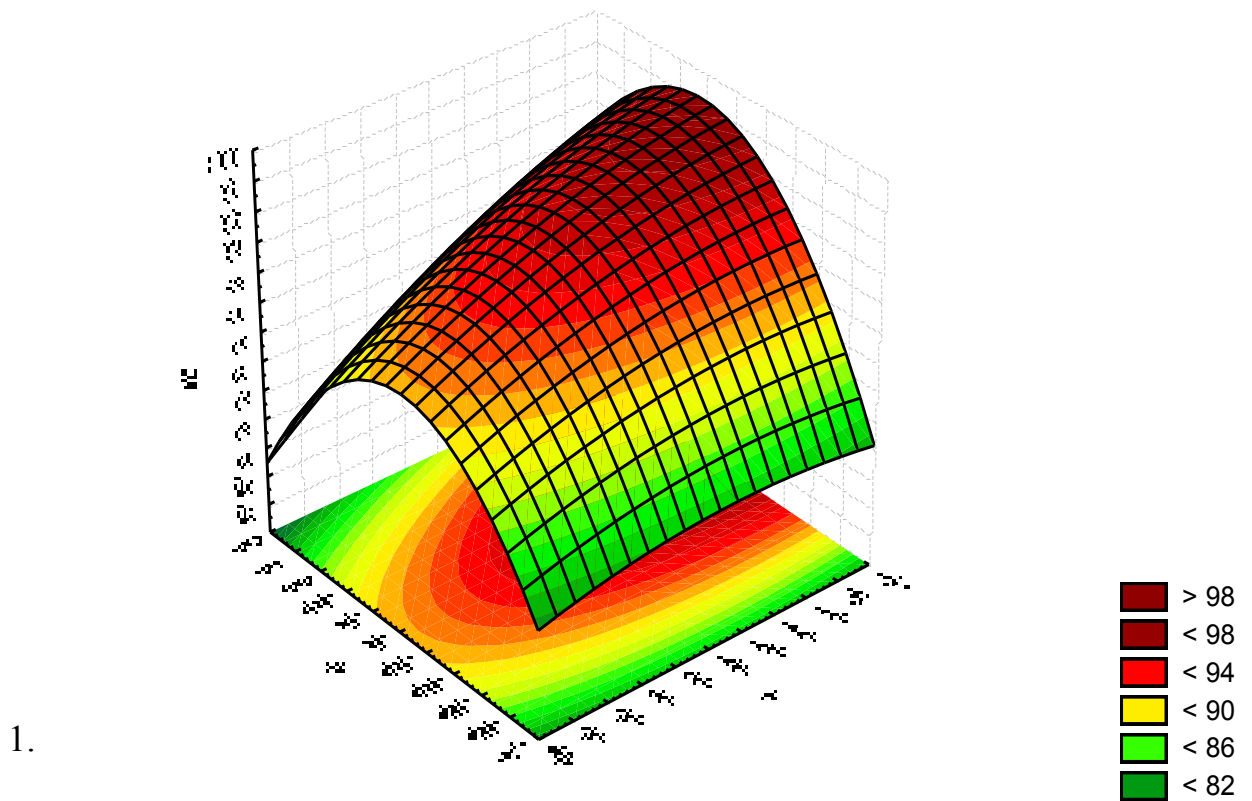
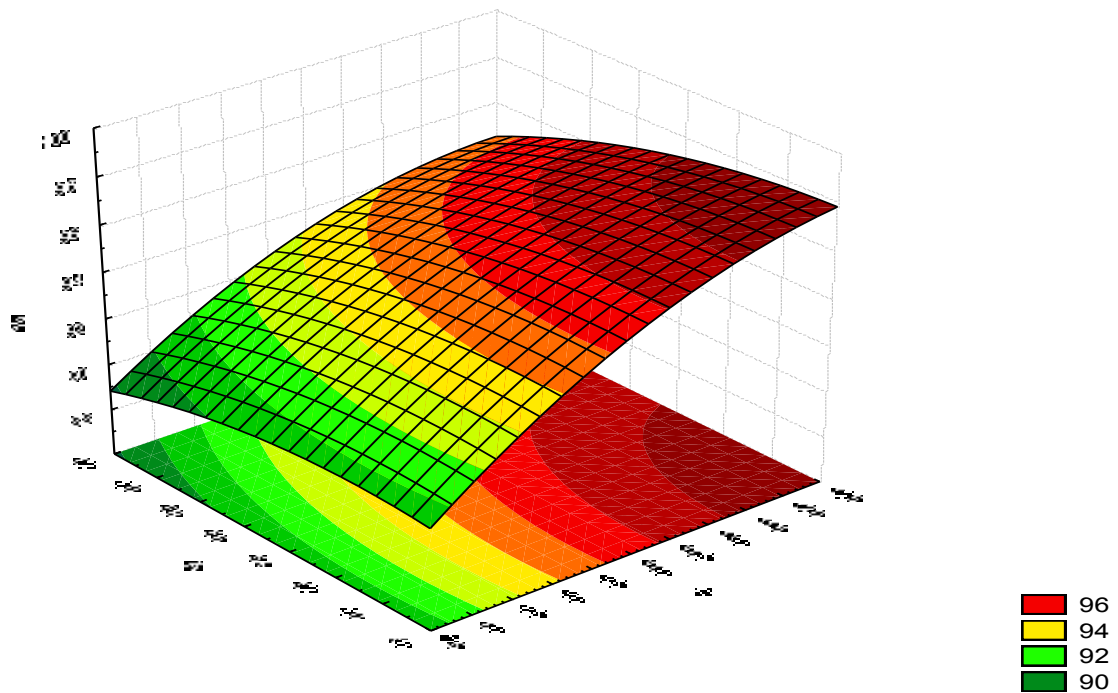
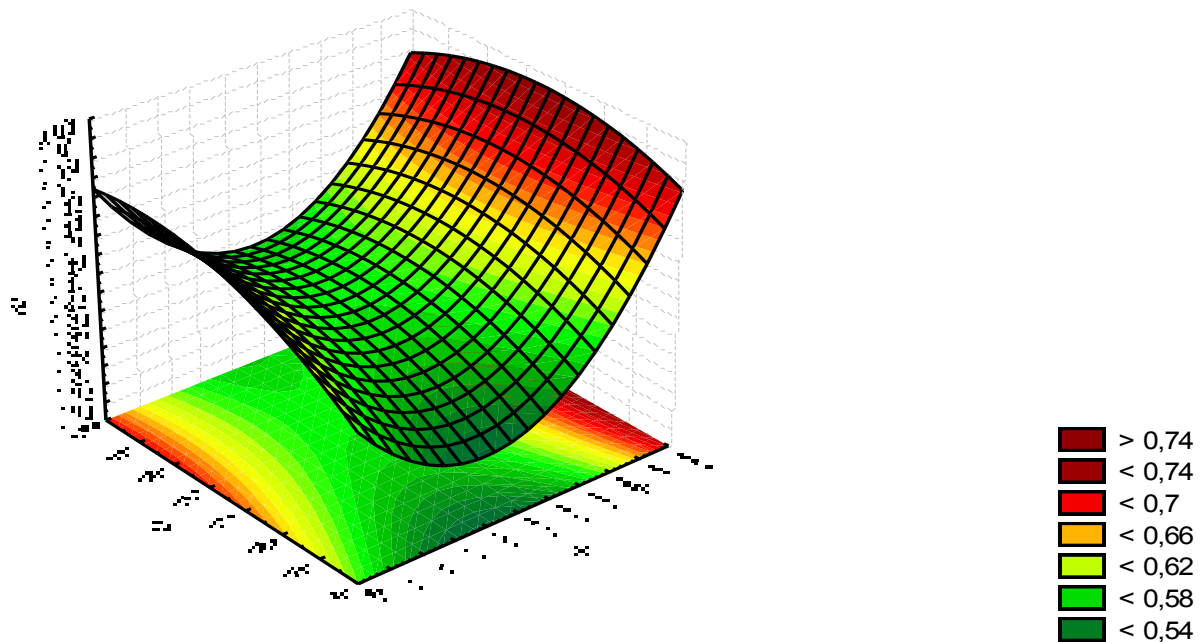


Рисунок 4.21 – Графическое отображение влияния частоты вращения и диаметра отверстий жиклеров на степень однородности ВКК (1) и удельные затраты энергии (2), при $A=0,050$ м.



1.



2.

Рисунок 4.22 – Графическое отображение влияния частоты вращения и амплитуды колебаний мембраны на степень однородности ВКК (1) и удельные затраты энергии (2), при $d=0,004$ м.

– при $1,7 \text{ с}^{-1}$ максимальная степень однородности ВКК составляет 94...96%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров от 0,0035 до 0,0048 м и амплитуды колебаний от 0,048 до 0,058 м;

– при $2,0 \text{ с}^{-1}$ максимальная степень однородности ВКК составляет 96...98%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров от 0,004 до 0,0055 м и амплитуды колебаний от 0,048 до 0,058 м.

Минимальный расход энергии при значениях частоты вращения рабочего органа 1,3; 1,7 и $2,0 \text{ с}^{-1}$ реализуется при амплитуде колебания от 0,054 до 0,062 м, от 0,054 до 0,060 и от 0,053 до 0,057 м, соответственно.

В результате анализа графических отображений ((приложение Е рис.Е.4...рис.Е.6) влияния исследуемых факторов на процесс приготовления ВКК, при фиксированных значениях амплитуды колебания мембраны установлено:

– при 0,050 м максимальная степень однородности ВКК составляет 96...98%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров с 0,0035 до 0,0045 мм и частоты вращения с 1,6 до $2,1 \text{ с}^{-1}$;

– при 0,055 м максимальная степень однородности ВКК составляет 92...96%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров с 0,003 до 0,004 м и частоты вращения с 1,5 до $2,1 \text{ с}^{-1}$;

– при 0,060 м максимальная степень однородности ВКК составляет 90...94%, это достигается при изменении диаметра отверстий жиклеров с 0,0032 до 0,0045 мм и частоты вращения с 1,7 до $1,8 \text{ с}^{-1}$;

Минимальный расход энергии при амплитуде колебания мембраны 0,050; 0,055 и 0,060 м реализуется при частоте вращения с 1,4 до $1,8 \text{ с}^{-1}$, с 1,5 до 1,8 и с 1,5 до $1,7 \text{ с}^{-1}$, соответственно.

В результате анализа графических отображений (приложение Е рис.Е.7...рис.Е.9) влияния исследуемых факторов на процесс приготовления ВКК, при фиксированных значениях диаметра отверстия жиклеров установлено:

– при 0,002 м максимальная степень однородности ВКК составляет 86...87%, это достигается при изменении амплитуды колебаний от 0,048 до 0,056 м и частоты вращения от 1,6 до $2,0 \text{ с}^{-1}$;

– при 0,004 м максимальная степень однородности ВКК составляет 94...96%, это достигается при изменении амплитуды колебаний от 0,048 до 0,054 м и частоты вращения от 1,8 до 2,1 с⁻¹;

– при 0,006 м максимальная степень однородности ВКК составляет 92...94%, это достигается при изменении амплитуды колебаний с 0,048 до 0,054 и частоты вращения с 1,9 до 2,1 с⁻¹.

Минимальный расход энергии при диаметрах отверстия жиклеров 0,002 0,004 и 0,006 м обеспечивается при изменении частоты вращения в диапазоне от 1,4 до 1,8 с⁻¹, от 1,1 до 1,75⁻¹ и от 1,4 до 1,7⁻¹, соответственно.

Как было отмечено выше, однородность смеси является качественным показателем ВКК. Разработанная технология приготовления ВКК предусматривает их скармливание крупному рогатому скоту. Зоотехнические требования регламентируют показатель однородности кормовой смеси для крупного рогатого скота, его численное значение должно быть 84...95% [106, 116, 137].

В результате анализа экспериментальных исследований установлено, что степень однородности ВКК как критерий оптимизации удовлетворяет предъявляемые зоотехническим требованиям во всем диапазоне варьирования факторов. На основании выше сказанного, в дальнейшем оптимизацию численных значений исследуемых факторов ведем относительно удельного расхода энергии шнеко-лопастного смесителя.

На основании анализа графического отображения влияния факторов их диапазоны и шаг варьирования были скорректированы. Таким образом, диапазоны и шаг варьирования амплитуды колебания, частоты вращения и диаметра отверстия жиклеров составили 0,050 ... 0,055 м, и 0,001 м; 1,6 ... 1,8 с⁻¹, и 0,08 с⁻¹; 0,002 ... 0,006 м, и 0,001м.

При шаговой обработке установлено, оптимальными значениями исследуемых факторов в заданных диапазонах варьирования при изменении частоты вращения от 1,6 до 1,8 с⁻¹ реализуются при диаметре отверстия жиклеров 0,004 м и амплитуде колебания мембраны 0,050 мм. Изменение частоты вращения рабочего органа в данном диапазоне соответствует повышению удельных затрат энергии от

$(15,0...16,3) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг Следует отметить что увеличение удельных затрат энергии не существенное.

На основании выше изложенного принимаем для дальнейших исследований и изготовления производственного образца шнеко-лопастного смесителя частоту вращения рабочего органа равную $1,8 \text{ с}^{-1}$, диаметр отверстия жиклеров – $0,004 \text{ м}$ и амплитуду колебания мембраны – $0,005 \text{ м}$.

4.4 Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления СКК

Экспериментальные исследования процесса приготовления СКК и обоснование рациональных параметров макета спирального смесителя по методикам, изложенным в разделе 3.5.2, на лабораторной установке (рис. 3.29) совместно с аспирантом ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» Е.Е. Гришковым [175, 184, 191, 193, 198, 201].

При проведении однофакторных экспериментах использовали ОКМ с влажностью $W = 14\%$. При многофакторном эксперименте – ОКМ ($W = 14\%$) и дробленое зерно кукурузы ($W = 12...14\%$).

Для осуществления однофакторных экспериментов предварительно было проведено исследование по определению подачи щелевого дозатора от положения шиберной заслонки по методике, изложенной в разделе 3.5.2 (рис.3.30). Полученные результаты позволили нанести градуированную шкалу на шиберную заслонку.

4.4.1 Влияние частоты рабочего органа на производительность и удельные затраты энергии спирального смесителя

В результате экспериментальных исследований были получены числовые значения производительности (Q) удельного расхода энергии ($W_{уд}$) в зависимости от частоты вращения рабочего органа (n) (приложение И, таблица И.1), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.23 и 4.324).

Производительность спирального смесителя пропорционально зависит от частоты вращения (рис. 4.23). Повышение частоты вращения со $1,7$ до $5,8 \text{ с}^{-1}$ обеспечивает увеличение производительности с $0,11$ до $0,83 \text{ кг/с}$.

При увеличении частоты вращения рабочего органа сопротивление перемещению материала возрастает. При этом растет дополнительное сопротивление,

возникающее при вращении конца спирали, установленном на эксцентрике ведущей цапфы и как следствие, происходит увеличение расхода энергии. Поэтому в данном случае затраты мощности на процесс перемешивания выше, чем на транспортирование массы.

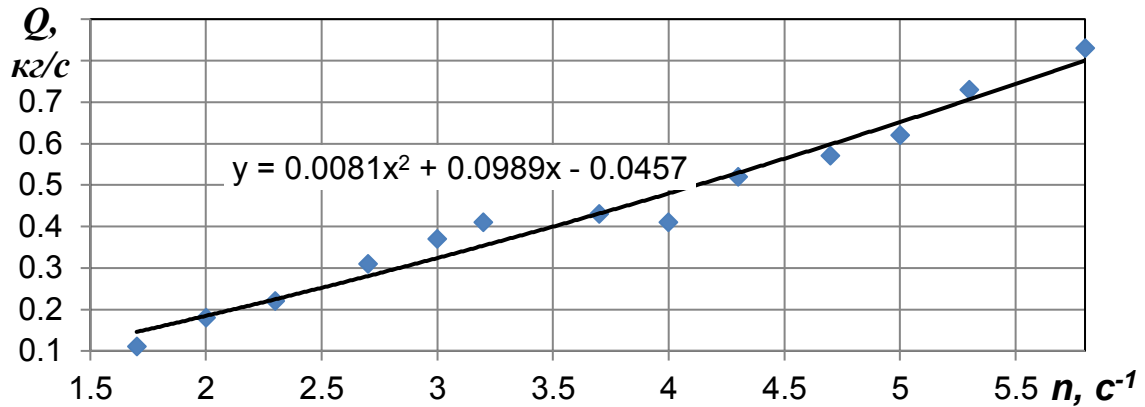


Рисунок 4.23 – Графическое отображение влияния частоты вращения на производительность спирального смесителя.

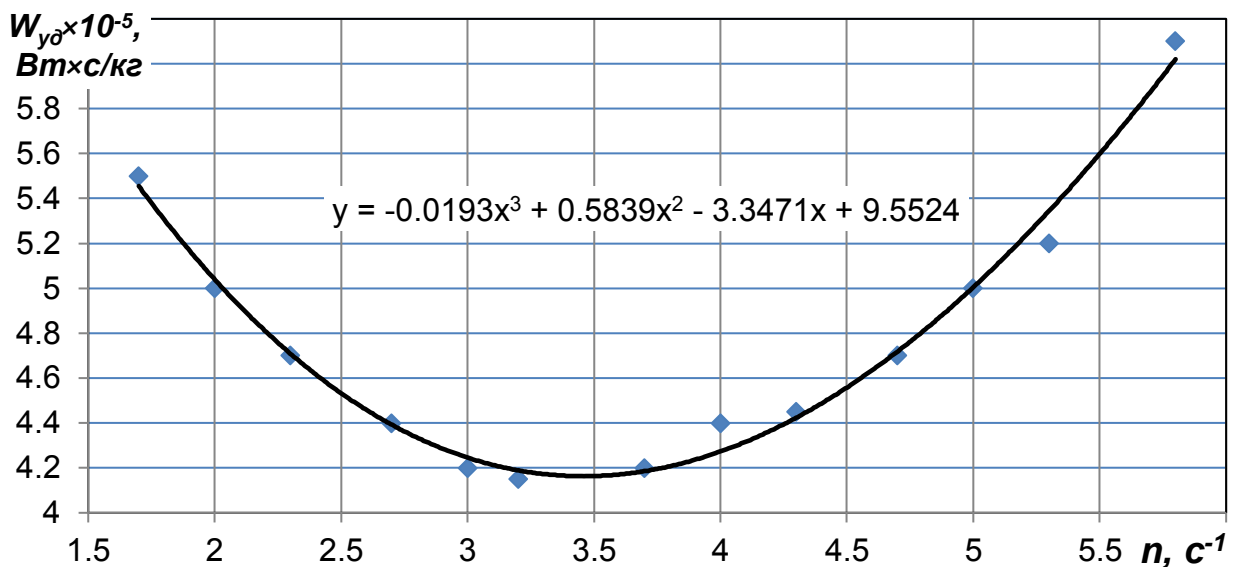


Рисунок 4.24 – Графическое отображение влияния частоты вращения на удельные затраты энергии спирального смесителя.

Увеличение частоты вращения с 1,1 до 4,9 с^{-1} понижает удельные затраты энергии с $(5,5 \text{ до } 4,1) \times 10^{-5} \text{ Вт} \times \text{с/кг}$. При дальнейшем повышении частоты вращения до 5,8 с^{-1} удельный расход энергии увеличивается до $6,1 \times 10^{-5} \text{ Вт} \times \text{с/кг}$. Данное явление происходит из-за того, что удельный расход энергии зависит от потребляемой мощности спирального смесителя и его производительности, при этом первый показатель от частоты вращения линейно возрастает, а второй – имеет стремительно восходящий характер.

Установлено, что при увеличении производительности от более 0,5 кг/с, расход энергии стремительно возрастает. Поэтому в дальнейших исследованиях производительность спирального смесителя ограничили, путем настройки подачи массы щелевым дозатором равной 0,5 кг/с, это соответствует установке зазора 0,016 м шиберной заслонки 9 (рис. 3.22) .

4.4.2 Влияние шага спирали на производительность и удельные затраты энергии смесителя

В результате экспериментальных исследований были получены числовые значения производительности (Q) удельного расхода энергии ($W_{y\partial}$) в зависимости от шага спирали (s) (приложение И, таблица И.2), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.25 и 4.26) .

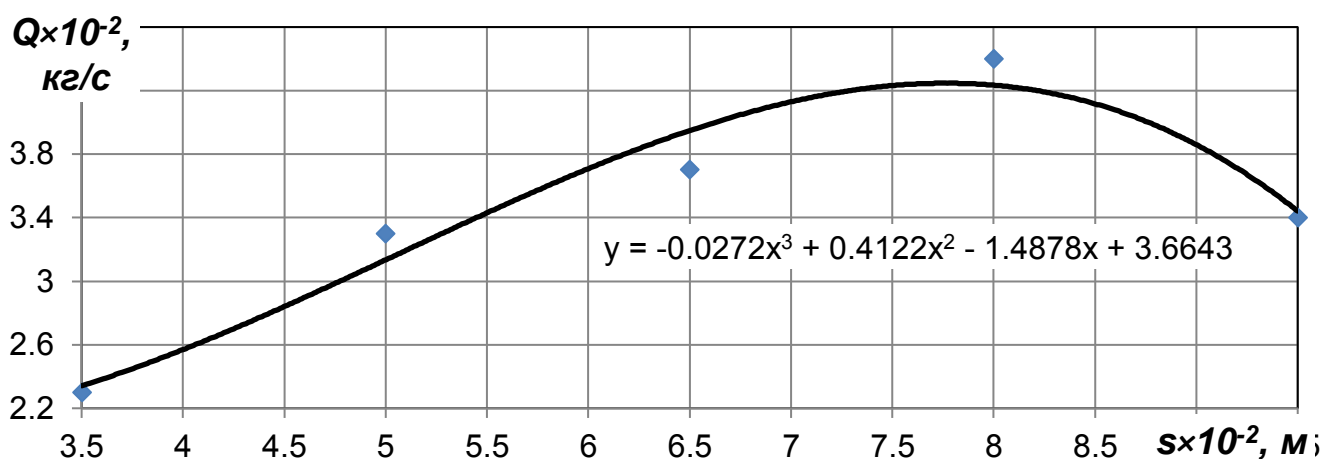


Рисунок 4.25 – Графическое отображение влияния шага спирали на производительность спирального смесителя.

Анализ графического отображения (рис. 4.25) графических зависимостей показал, что кривая зависимости имеет выраженную точку экстремума при шаге спирали 0,075 м, что соответствует максимальной производительности 0,41кг/с. При увеличении шага спирали с 0,35 до 0,080 м производительность смесителя повышается с 0,23 до 0,41кг/с. Дальнейшее увеличение шага спирали до 0,095м снижает производительность до 0,34 кг/с. Это происходит из-за увеличения угла подъема спирали, при этом сила трения снижается, в результате уменьшается линейная скорость материала.

Удельные затраты энергии (рис. 4.26) при изменении шага спирали с 0,035 до 0,080 м практически не меняются и составляют $(4,4...5,0) \times 10^{-5}$ Вт×с/кг. При увеличении шага спирали более 0,080 м происходит резкий рост удельных затрат энергии до $6,6 \times 10^{-5}$ Вт×с/кг. Причина увеличения удельных затрат энергии при

изменении шага спирали с 0,080 до 0,095 м заключается в резком снижении производительности смесителя в данном диапазоне.

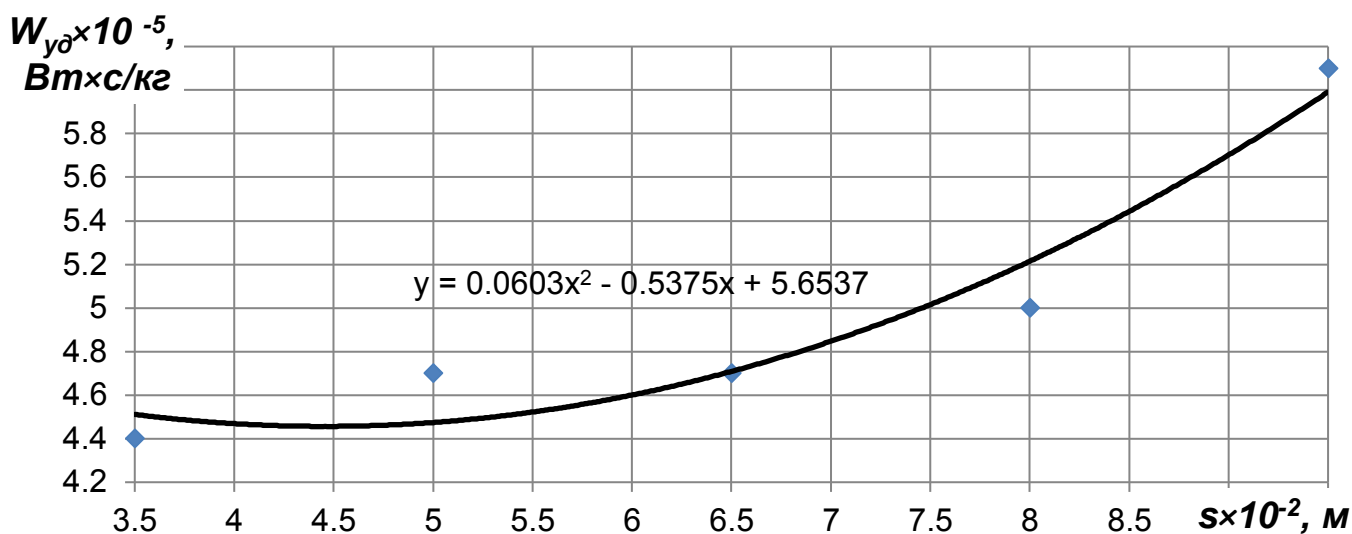


Рисунок 4.26 – Графическое отображение влияния шага спирали на удельные затраты энергии спирального смесителя.

4.4.3 Влияние эксцентриситета установки спирали на производительность и удельные затраты энергии спирального смесителя

В результате экспериментальных исследований были получены числовые значения производительности (Q) удельного расхода энергии ($W_{уд}$) в зависимости от эксцентриситета установки спирали на ведущей цапфе (k) (приложение И, таблица И.3), на основании которых представлено графическое отображение (рис. 4.27 и 4.28). Изменение величины эксцентриситета с 0,055 до 0,068 м обеспечивает увеличение производительность смесителя с 0,27 до 0,28 кг/с (рис. 4.27). Дальнейшее

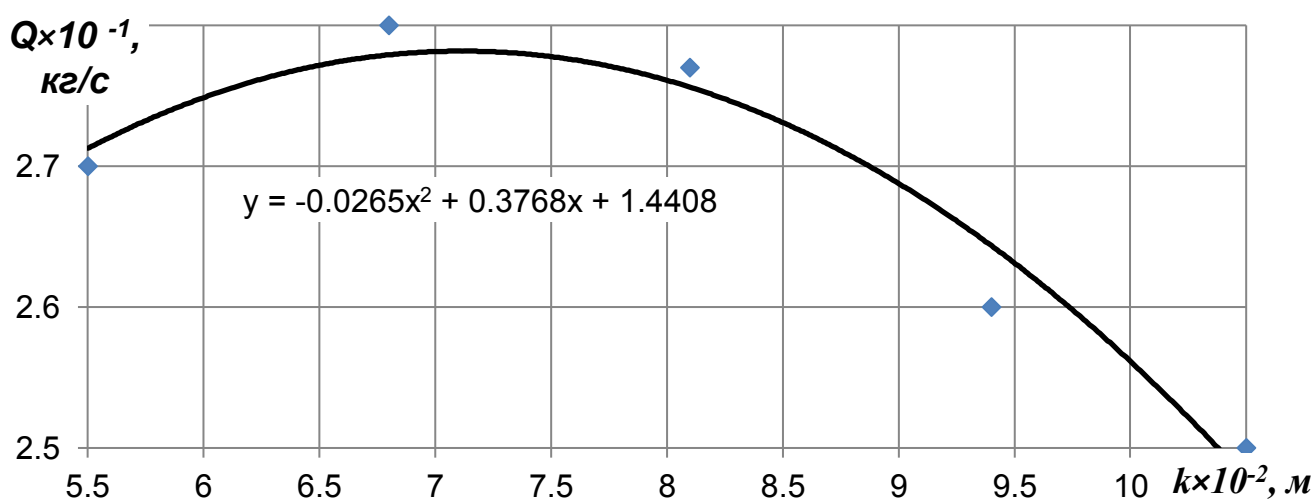


Рисунок 4.27 – Графическое отображение влияния эксцентриситета на производительность спирального смесителя.

увеличение эксцентриситета до 0,0105 м, наоборот приводит к снижению производительности до 0,25кг/с. Изменение производительности смесителя зависит от положения спирали. Первоначально спираль изогнута, имеет форму дуги, по мере увеличения эксцентриситета с 0,055 до 0,068 м она выпрямляется, при этом обеспечивается максимальная производительность. При дальнейшем увеличении эксцентриситета угол наклона спирали увеличивается, сила сопротивления перемещению массы увеличивается, соответственно производительность снижается. Данное явление характерно для наклонных спиральных транспортеров.

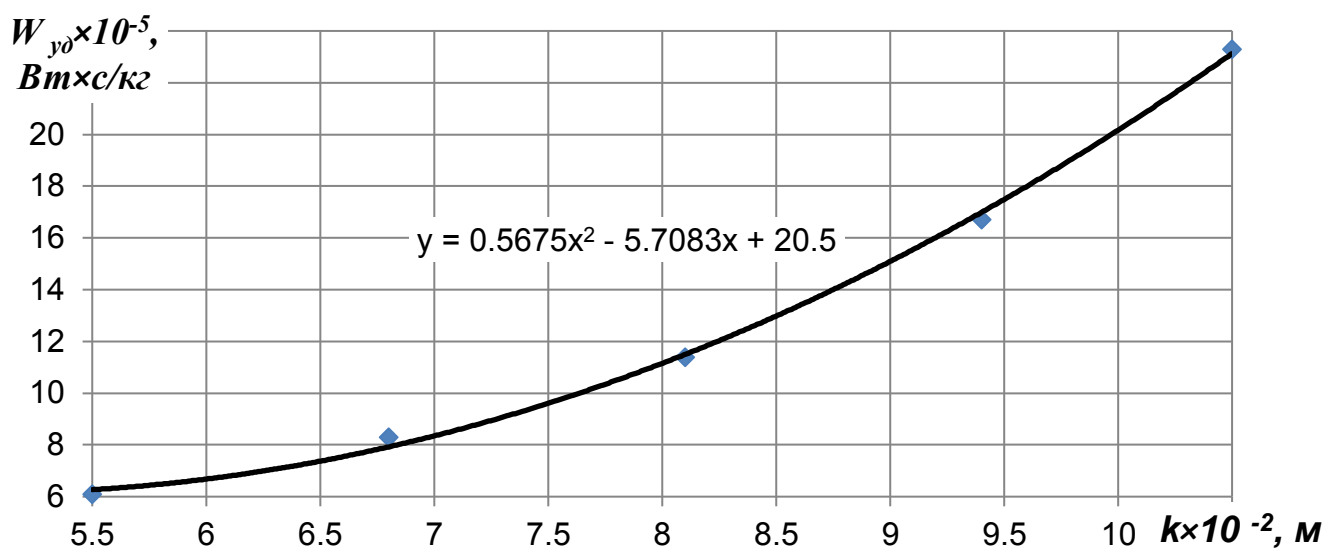


Рисунок 4.28 – Графическое отображение влияния эксцентриситета на удельные затраты энергии спирального смесителя.

Удельный расход энергии повышается с $6,1 \times 10^{-5}$ до $23,3 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг при увеличении эксцентриситета в исследуемом интервале. Это соответствует характеру изменения производительности, так как она имеет обратную пропорциональность удельному расходу энергии.

4.4.4 Обоснование рациональных параметров спирального смесителя

На основании разработанной матрицы (табл.3.3) проведены экспериментальные исследования с целью оптимизации конструктивно-режимных параметров спирального смесителя, результаты представлены в таблице 4.3.

В результате обработки полученных данных (табл. 4.2) с помощью ПЭВМ используя программу «Mathematika 4.2» и оператора Fit [data, {базисные функции},

{переменные}] получили модели регрессии, которые представлены в именованных величинах для определения: Однородности смеси ВКК

$$\theta = 83,96247 + 0,01385n - 4,16667 \cdot 10^{-7}n^2 - 0,11281S - 0,00019nS - \\ - 0,00013S^2 + 0,29898k + 0,0001nk + 0,0025Sk - 0,00279k^2 \quad (4.7)$$

Затрачиваемой удельной энергии

$$N_{\text{уд}} = 2,21076 - 0,00171n + 0,4 \cdot 10^{-5}n^2 - 0,05603S + 6,25 \cdot 10^{-7}nS + 0,00037S^2 + \\ + 0,00459k - 8,33333 \cdot 10^{-7}nk + 6,12818 \cdot 10^{-19}Sk - 0,00001k^2 \quad (4.8)$$

Проверку адекватности моделей проводили по критерию Фишера, определив его опытные значения, и сравнили с табличными данными. Данные модели признаны адекватными и могут быть использованы для определения искомых величин.

Математические модели (4.5) и (4.6) дают возможность, в заданных диапазонах изменения факторов, определить числовые значения степени однородности ВКК и удельного расхода энергии.

На основании исследования полученных выражений с помощью ПЭВМ и программы «Statistica» представлены графические отображения частных сечений при фиксированных значениях факторов (рис. 4.29 ... 4.31), (приложение К рис. К.1...К.9).

При фиксированных значениях частоты вращения рабочего органа максимальная степень однородности ВКК 97...98% достигается;

– при $1,7 \text{ с}^{-1}$ минимальный удельный расход энергии $5,5 \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{кг}$; достигается при изменении эксцентриситета от 0,055 до 0,070 м и шага спирали от 0,070 до 0,080 м;

– при $3,3 \text{ с}^{-1}$ минимальный удельный расход энергии $5,5 \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{кг}$; достигается при изменении эксцентриситета от 0,055 до 0,065 м и шага спирали от 0,074 до 0,076 м;

– при 300 мин^{-1} минимальный удельный расход энергии $4,2 \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{кг}$; достигается при изменении эксцентриситета от 0,055 до 0,070 м и шага спирали от 0,074 до 0,076 м;

При фиксированных значениях шага спирали максимальная степень однородности ВКК 96...97% достигается:

Таблица 4.3 – Результаты экспериментального исследования спирального смесителя.

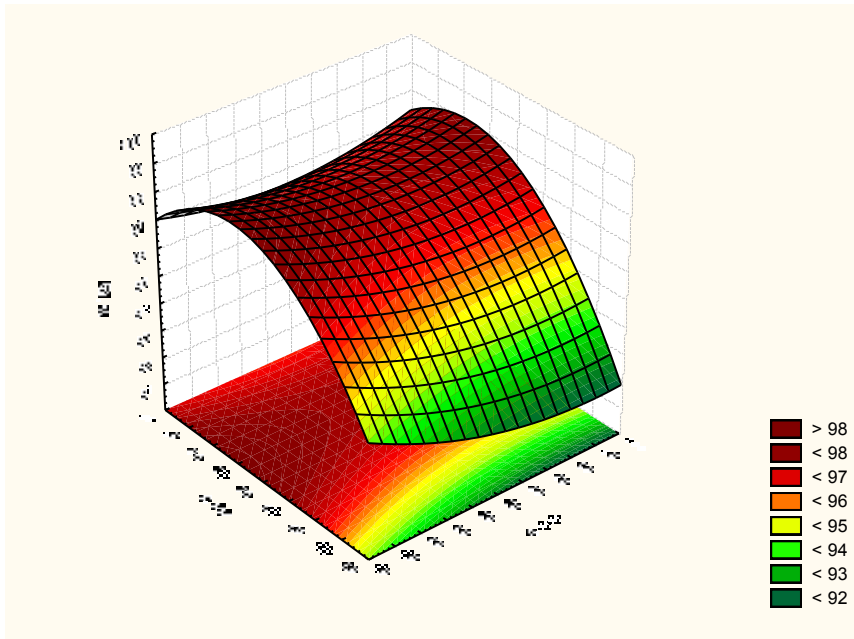
Уровень и интервал варьирования	Частота вращения рабочего органа (n), мин ⁻¹	Шаг спирали (S), мм	Эксцентриситет (k), мм	Критерий оптимизации	
				Степень однородности смеси, (Θ), %	Удельный расход энергии ($N_{уд}$), кВт×ч/т
				X_1	X_2
1	+	+	0	97,8	0,32
2	-	-	0	94,2	0,38
3	+	-	0	97,8	0,34
4	-	+	0	95,7	0,35
5	+	0	+	97,3	0,22
6	-	0	-	94,6	0,17
7	+	0	-	94,1	0,14
8	-	0	+	97,2	0,26
9	0	+	+	98,3	0,34
10	0	-	-	94,7	0,27
11	0	+	-	92,8	0,25
12	0	-	+	97,2	0,36
13	0	0	0	96,8	0,16
14	0	0	0	96,6	0,17
15	0	0	0	95,9	0,16

– при 0,055м значениями эксцентриситета от 0,065 до 0,090м и частоты вращения от 3,0 до 4,3 с⁻¹;

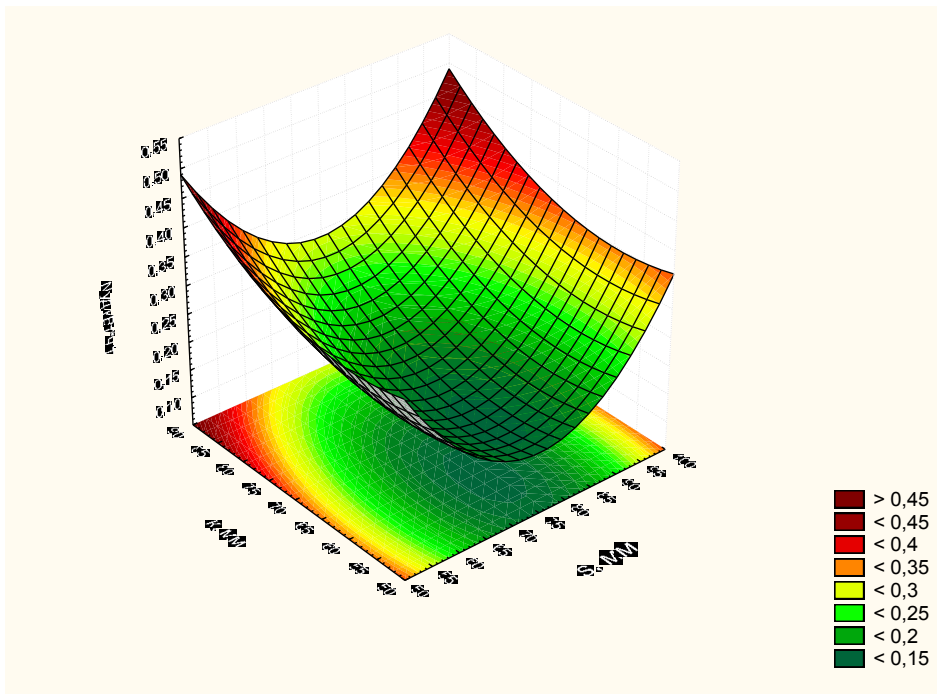
– при 0,075м значениями эксцентриситета от 0,065 до 0,090 м и частоты вращения от 1,7 до 5,0 с⁻¹;

при 0,095 м значениями эксцентриситета от 0,070 до 0,090 м и частоты вращения от 1,6 до 5,0 с⁻¹.

Минимальный удельный расход энергии при фиксированном значении шага спирали достигается:

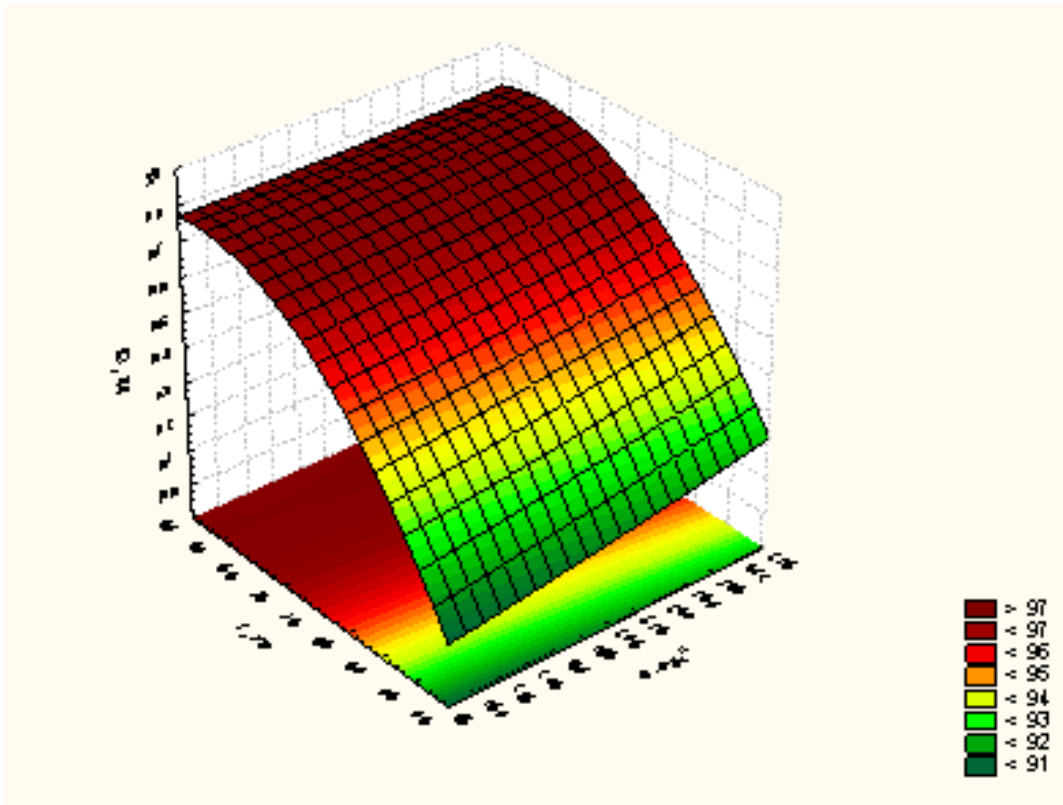


1.

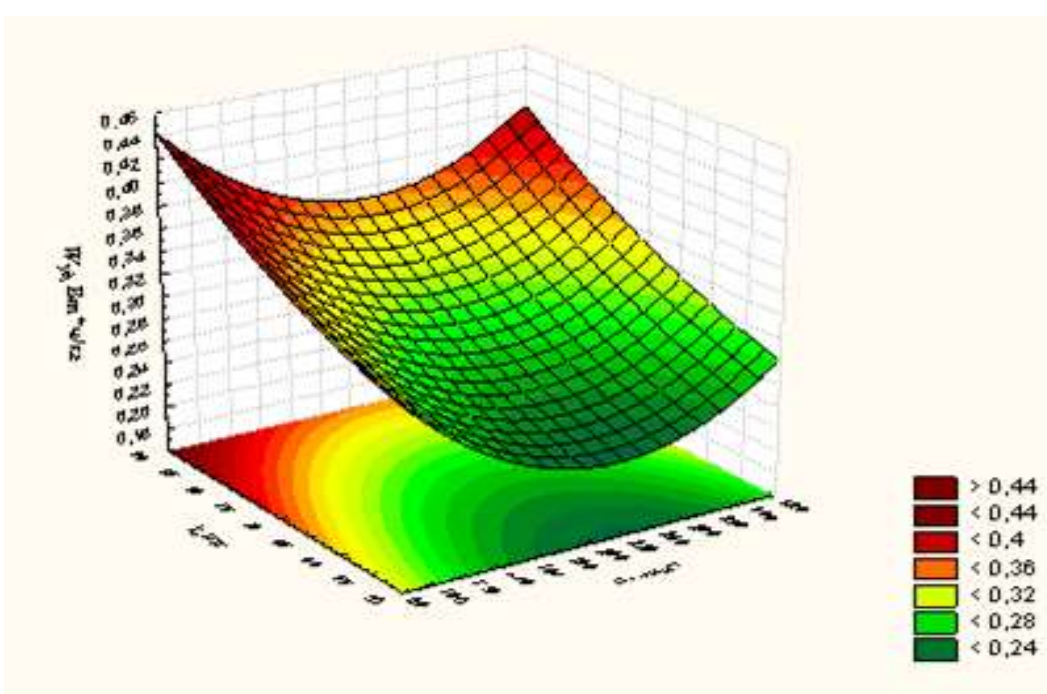


2.

Рисунок 4.29 – Графическое отображение влияния эксцентриситета, шага спирали на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), фиксированная частота вращения – $5,0 \text{ c}^{-1}$

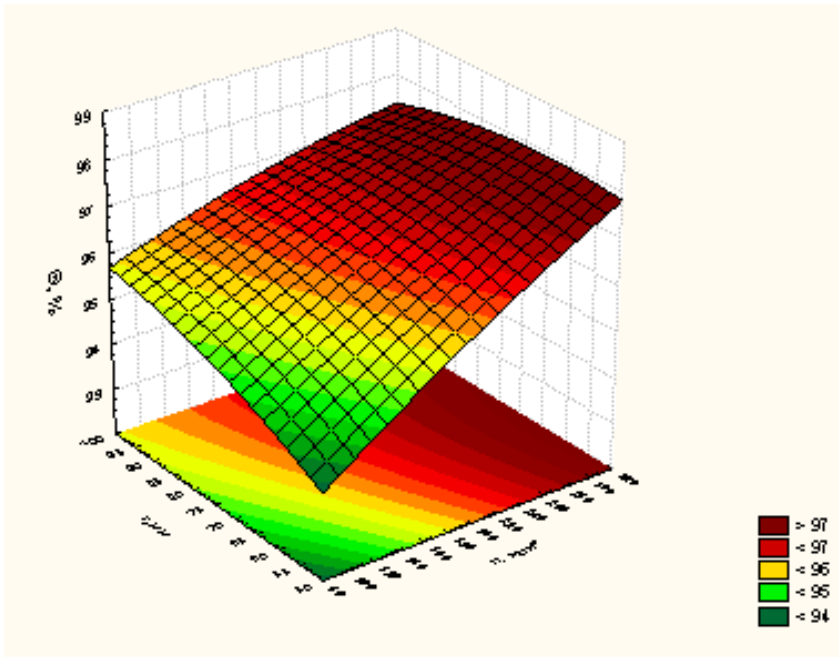


1.

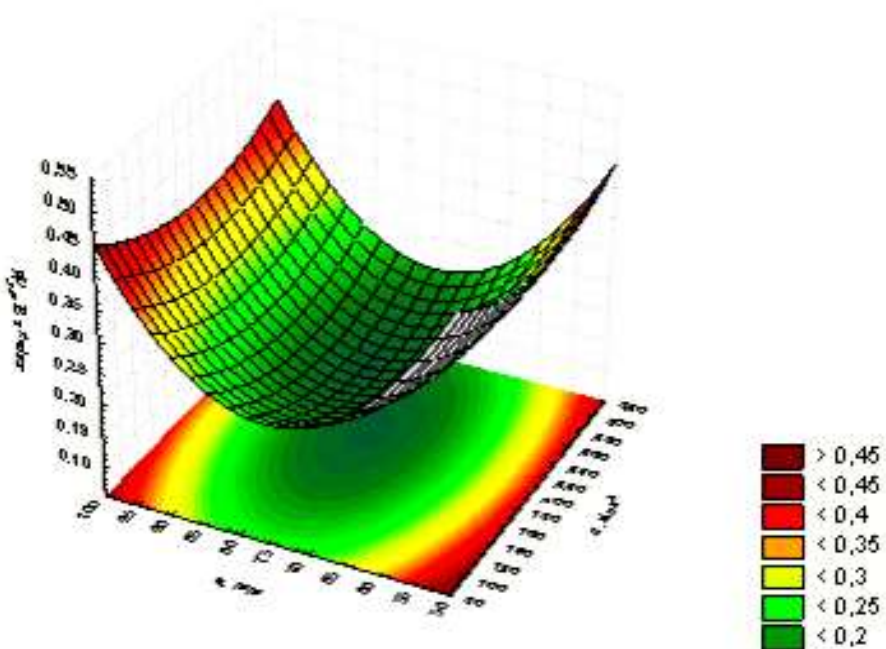


2.

Рисунок 4.30 – Графическое отображение влияния эксцентриситета, частоты вращения на степень однородности смеси СКК (1) и удельный расход энергии (2), фиксированный шаг спирали – 0,095 м.



1.



2.

Рисунок 4.31 – Графическое отображение шага спирали, частоты вращения на степень однородности смеси СКК (1) и удельный расход энергии (2), фиксированный эксцентриситет – 0,070м.

При фиксированных значениях эксцентриситета максимальная степень однородности ВКК достигается:

– 0,055 м степень однородности 97...98 % достигается при шаге спирали от 0,050 до 0,075 м и частоте вращения от 4,0 до 5,0 с⁻¹;

– 0,070 м степень однородности 96...97 % достигается при шаге спирали от 0,055 до 0,095 м и частоте вращения от 3,7 до 5,0 с⁻¹;

– 0,085 м степень однородности 97...98 % достигается при шаге спирали от 0,085 до 0,095 м и частоте вращения от 1,7 до 4,0 с⁻¹.

Минимальный удельный расход энергии при фиксированном значении эксцентриситета достигается:

– 0,055 м минимальный удельный расход энергии $4,2 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг достигается при шаге спирали от 0,070 до 0,080 м и частоте вращения от 3,0 до 4,3 с⁻¹;

– 0,070 м минимальный удельный расход энергии $5,6 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг достигается при шаге спирали от 0,070 до 0,080 м и частоте вращения от 3,0 до 4,7 с⁻¹;

– 0,085 м минимальный удельный расход энергии $5,6 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг достигается при шаге спирали от 0,070 до 0,080 м и частоте вращения от 3,0 до 4,2 с⁻¹;

Анализ полученных оптимальных диапазонов факторов при фиксированных значениях позволяет установить, что степень однородности приготовленного в результате экспериментального исследования СКК составляет 96...98%. Для комбинированных кормов достаточной степенью однородности смеси считается показатель 95%. [105, 106]. Поэтому дальнейшую оптимизацию параметров спирального смесителя проводим относительно удельных затрат энергии стремящихся к минимуму.

На основании анализа графических отображений влияния факторов их диапазоны и шаг варьирования были скорректированы. Таким образом, диапазон варьирования: эксцентриситета от 0,065 до 0,075 м, с шагом 0,005 м; частоты вращения от 3,0 до 4,3 с⁻¹, с шагом 0,7 с⁻¹; шага спирали 0,070...0,085 м, с шагом 0,005 м.

В результате шаговой обработки полученных данных в скорректированных диапазонах изменения факторов установлены их рациональные числовые значения при частоте вращения:

– $3,0 \text{ с}^{-1}$ шаг спирали составил $0,085 \text{ м}$, эксцентриситет – $0,065 \text{ м}$;

– $3,7 \text{ с}^{-1}$, шаг спирали составил $0,070 \text{ м}$, эксцентриситет – $0,075 \text{ м}$;

– $4,3 \text{ с}^{-1}$, шаг спирали составил $0,075 \text{ м}$, эксцентриситет – $0,070 \text{ м}$.

При этом удельный расход энергии на приготовления СКК составит $(4,2\dots5,6) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$.

Для изготовления производственного образца спирального смесителя и его дальнейших испытаний принимаем частоту вращения рабочего органа $4,3 \text{ с}^{-1}$, шаг спирали $0,075 \text{ м}$ и эксцентриситет ее установки $0,070 \text{ м}$. Это позволит обеспечить степень однородности СКК не менее 96% , при минимальном удельном расходе энергии.

4.5 Сходимость теоретических и экспериментальных результатов проведенных исследований

Для наглядной оценки сходимости результатов проведенных теоретических и лабораторных исследований нами представлено ряд графических отображений зависимостей (4.32....4.34).

Определение сходимости результатов исследований процесса нагревания СКЭ в нейтрализаторе проводим путем сравнительного анализа (рис. 4.32). Для этого использовали результаты экспериментального исследования (раздел 4.2.1, рис. 4.10) и численные значения температуры в зависимости от времени нагревания СКЭ, которые определяли по выражению (2.50).

Определение сходимости результатов исследований по определению производительности шнеко-лопастного смесителя проводим путем сравнительного анализа (рис. 4.33). Для этого использовали результаты экспериментального исследования (раздел 4.3.1, рис. 4.17) и численные значения производительности шнеко-лопастного смесителя в зависимости от частоты вращения, которые определяли по выражению (2.78).

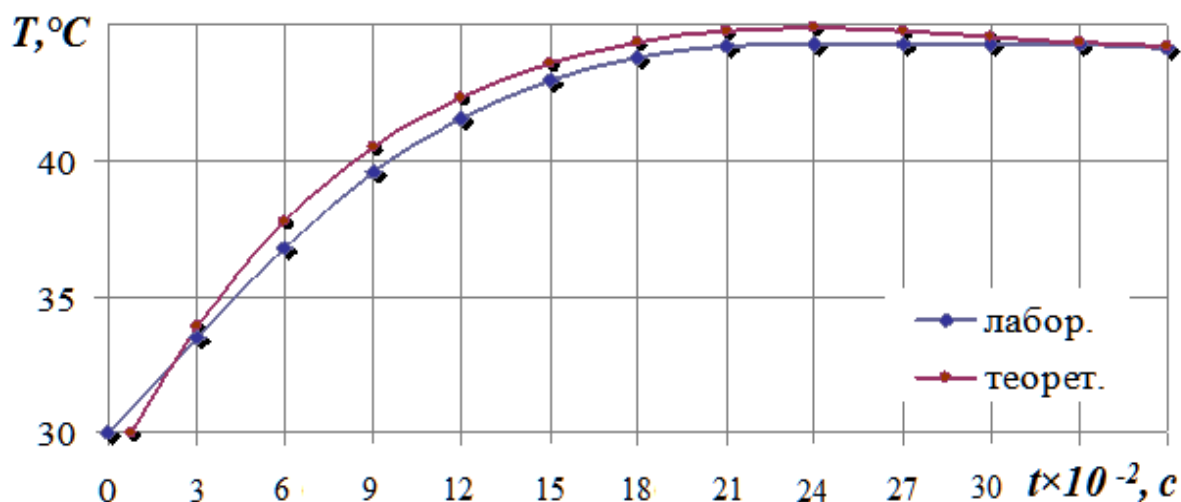


Рисунок 4.32 – Графическое отображение влияния времени на температуру нагрева СКЭ.

Определение сходимости результатов исследований по определению производительности спирального смесителя проводим путем сравнительного анализа (рис. 4.34). Для этого использовали результаты экспериментального исследования (раздел 4.4.1, рис. 4.29) и численные значения производительности спирального смесителя в зависимости от частоты вращения, которые определяли по выражению (2.231).

В результате анализа представленных теоретических и лабораторных результатов исследований (рис. 4.32 – 4.34) установлено, что их сходимость не менее 95%.

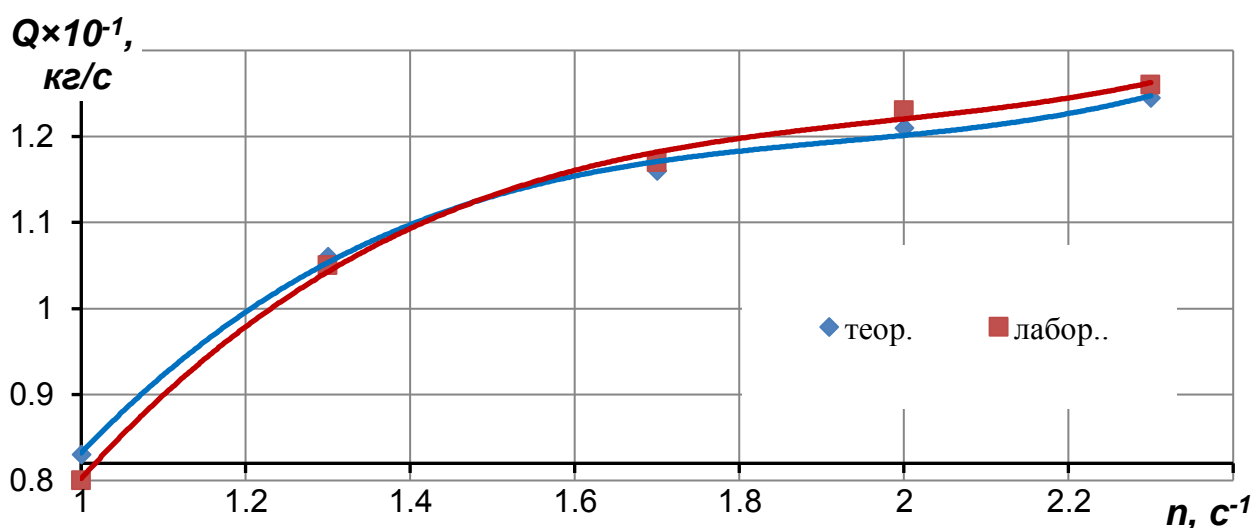


Рисунок 4.33 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего на производительность шнеко-лопастного смесителя.

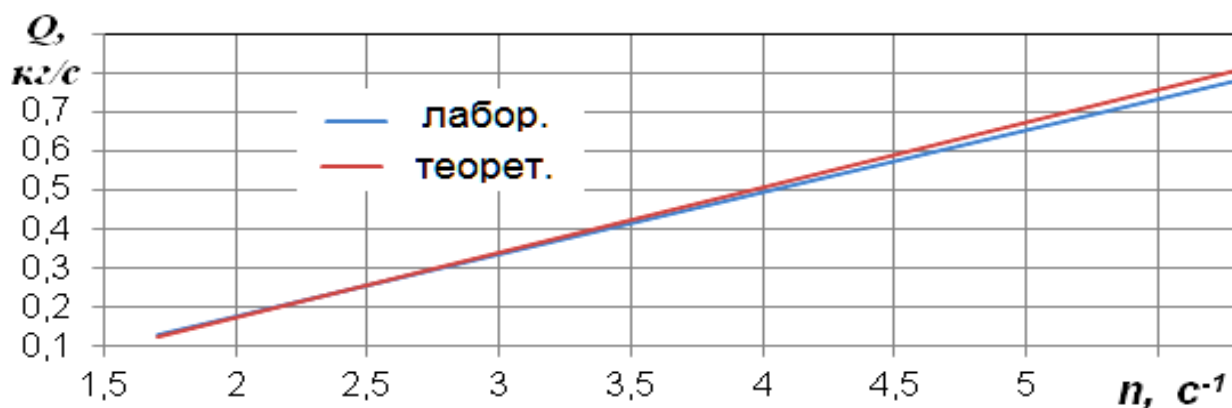


Рисунок 4.34 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего на производительность спирального смесителя.

В целом результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований технологии и средств механизации приготовления кукурузных кормов с предварительной нейтрализацией кислотности СКЭ могут быть использованы на практике.

Выводы по четвертой главе

1. В результате исследований физико-механических и тепло-физических свойств ППКПП установлено.

С повышением температуры от $+20$ до $+90^{\circ}\text{C}$ кинематическая вязкость СКЭ увеличивается с 575 до 153 $\text{мм}^2/\text{с}$, динамическая – с 655 до 175 $\text{МПа}\cdot\text{с}$.

Минимальное значение липкости СКЭ $13,7\text{Н}/\text{м}^2$ достигается при температуре $+45^{\circ}\text{C}$. Липкость СКЭ уменьшается с 38 до $13\text{Н}/\text{м}^2$ при повышении температуры с $+15$ до $+43$, при дальнейшем нагревании до $+85^{\circ}\text{C}$ увеличивается до $33,3\text{ Н}/\text{м}^2$. Увеличение липкости СКЭ происходит при денатурации белков с выделением воды, которая обеспечивает крахмалу клейстеризацию.

При повышении влажности СКЭ с 50 до 95% его плотность уменьшается с 1150 до $962\text{кг}/\text{м}^3$. Снижение плотности СКЭ при выпаривании происходит по причине удаления летучих кислот и воды.

При повышении влажности дробленого кукурузного зерна от 5 до 25 % её объемная масса изменяется с 578 до $562\text{ кг}/\text{м}^3$, а угол естественного откоса увеличивается с $36,6$ до 45° . Значения минимальной объемной массы $562\text{ кг}/\text{м}^3$ и максимального угла естественного откоса 45° достигаются при влажности 20%.

При повышении влажности кукурузного жмыха с 5 до 25 % его объемная масса уменьшается с 536 до 415 кг/м³, при этом угол естественного откоса возрастает с 38° до 43,8° и достигает максимума 43,8° при влажности 15%.

Повышение влажности ВКК от 5 до 80% приводит к увеличению его объёмной массы с 349 до 796 кг/м³ и угла естественного откоса с 28 до 50°. При этом коэффициенты трения по стали 45 и 08Х13 увеличиваются, статический – с 0,39 до 1,0 и с 0,27 до 1,0, динамический – с 0,33 до 0,78 и 0,21 до 0,87 соответственно.

Коэффициенты температуропроводности и теплопроводности СКЭ при повышении влажности с 50 до 90% увеличиваются с $1,18 \times 10^{-7}$ до $4,30 \times 10^{-7} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ и с 0,34 до 1,99 Вт/(м · К) соответственно, при этом его удельная теплоёмкость повышается с $2,55 \times 10^3$ до $4,27 \times 10^3$ Дж/(кг·К).

Коэффициенты температуропроводности и теплопроводности ВКК при повышении влажности от 20 до 90% увеличиваются с $0,26 \times 10^{-7}$ до $1,30 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ и с 0,28 до 0,57 Вт/(м·°К) соответственно, при этом его удельная теплоёмкость повышается с $2,30 \times 10^3$ до $4,01 \times 10^3$ Дж/(кг·°К).

2. Экспериментальные исследования показали, температура и время нагревания СКЭ зависят от толщины стенки внутреннего цилиндра. При толщине стенки 0,001; 0,0015 и 0,002 м максимальная температура СКЭ при нагревании в нейтрализаторе достигается в течение 2100, 2400; 2700 секунд до значения 44,3; 43,6 и 43,1°С, соответственно, период её стабилизации составляет от 1200 до 1500 секунд. При циркуляции СКЭ насосом с подачей $6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ время его нагревания сокращается на 12,5%.

В результате многофакторного эксперимента выявлено, что для нейтрализатора с толщиной стенки внутреннего цилиндра 0,001; 0,0015 и 0,002 м рациональные численные значения частоты вращения мешалки находятся в диапазоне 1,0...3,0 с⁻¹; подачи насоса $6,3 \cdot 10^{-6}$... $8,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, при этом время нагревания СКЭ составит 1500...1620, 1680...1740 и 1860..1920 с, удельный расход энергии $(7,0...7,5) \times 10^{-5}$, $(7,8...10,8) \times 10^{-5}$ и $(8,6...12,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг, соответственно. Для нейтрализации СКЭ, изменения рН с 3,9 до 6,3, затраты времени составили от 1200 до 1440 секунд.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, повышение частоты вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя от 1,0 до 2,0 с⁻¹ ведет к увеличению его производительности от 0,83 до 1,17 кг/с. При этом на производительность смесителя влияет подача насоса СКЭ, которая в свою очередь зависит от амплитуды колебания мембраны и размера отверстия жиклеров смешивающих лопастей.

Значения амплитуды колебания мембраны насоса СКЭ 0,041, 0,060 и 0,028 м достигаются при массе груза возвратного устройства 5,0, 10,0 и 15кг и частоте вращения рабочего органа 1,6...1,8, 1,5...1,8 и 1,5...1,8 с⁻¹, соответственно. Максимальная амплитуда колебания мембраны 0,060 м реализуется при массе груза 10 кг при частоте вращения от 1,5...1,8 с⁻¹.

Подача насоса СКЭ 0,18, 0,22 и 0,24 кг/с достигается при максимальной амплитуде колебания мембраны, диаметре отверстия жиклера смешивающих лопастей 0,002, 0,004 и 0,006 м и частоте вращения 1,6...1,8, 1,6...1,9 и 1,6...1,9 с⁻¹. Максимальная подача мембранного насоса 0,24 кг/с реализуется при диаметре отверстия жиклера 6мм и частоте вращения от 1,6 до 1,9 с⁻¹.

При реализации многофакторного эксперимента установлены оптимальные параметры шнеко-лопастного смесителя при частоте 1,6...1,8 с⁻¹ амплитуда колебаний мембраны насоса СКЭ составляет 0,050 м, диаметр отверстия смешивающих лопастей – 0,004 м, при этом обеспечивается степень однородности кормов 90...96%, удельный расход энергии – $(15,0...16,3) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

4. В результате экспериментальных исследований установлено.

При изменении частоты вращения рабочего органа спирального смесителя СКК с 1,7 до 5,8 с⁻¹ его производительность увеличивается с 0,11 до 0,83 кг/с. При этом минимальный удельный расход энергии $4,1 \times 10^{-5}$ Вт×с/кг обеспечивается в диапазоне частоты вращения от 3,0 до 3,7 с⁻¹.

При увеличении шага спирали смесителя СКК от 0,035 до 0,095 м его производительность изменяется от 0,23 до 0,41 кг/с. Максимальное значение производительности достигается при шаге спирали 0,065...0,85 м. При этом минимальные значения удельного расхода энергии $(4,4...5,0) \times 10^{-5}$ Вт×с/кг реализуются при шаге спирали от 0,035 до 0,075 м.

Увеличение эксцентриситета установки спирали смесителя СКК от 0,055 до 0,095 м его производительность изменяется с 0,28 до 0,25 кг/с. Максимальное значение производительности 0,28 кг/с и минимальные удельные затраты с $6,1 \times 10^{-5}$ до $11,4 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг достигаются при эксцентриситете от 0,035 до 0,085 м.

В результате многофакторного эксперимента установлены рациональные параметры спирального смесителя СКК при частоте вращения рабочего органа 3,0, 3,7 и 4,3 с⁻¹, шаг спирали 0,085, 0,070, 0,075 м и эксцентриситете 0,065, 0,075 и 0,070 м, соответственно, эти параметры обеспечивают степень однородности СКК 96..98%, и удельные затраты энергии $(4,2 \dots 5,6) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

5. При сравнительном анализе результатов теоретических и экспериментальных исследований установлено, что их сходимость составляет более 95%.

Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

5.1 Результаты внедрения в производство технологии приготовления ВКК и эффективность их использования

5.1.1 Результаты внедрения технологии и средств механизации приготовления ВКК*

До 2003 года на производстве ОАО «Ибрёдькрахмалопатока» СКЭ сгущался в полном объёме, при этом не более 10% использовали для смешивания с ОКМ, остальную часть отправляли в отстойники. Первая апробация разработанного способа приготовления ВКК с целью подтверждения теоретических предположений по осуществлению нейтрализации кислотности СКЭ совместно оксидом кальция и гидроксидом натрия была проведена в рамках хозяйственного договора № 24-2003 с ОАО «Ибрёдькрахмалпатока» (Рязанская область) в 2003 году на тему «Разработка технологии получения сырых кормов». Апробацию разработанной технологии проводили на мощностях ОАО «Ибрёдькрахмалпатока» и имеющемся оборудовании. В результате были подтверждены теоретические предположения и обоснования по выбору реагентов и их количества для нейтрализации СКЭ до заданных значений pH. По результатам испытаний способа составлен акт от 15.12.2003г. (приложение Л). По результатам выполненной работы была подана заявка на изобретение способа приготовления ВКК из ППКПП, которая в дальнейшем была рассмотрена, признана новизна и выдан патент РФ № 2336722.

В период с 1 января 2006года по 31 декабря 2009 ОАО «Ибрёдькрахмалпатока» было приготовлено и реализовано 94021, 740 тонн ВКК с предварительной нейтрализацией СКЭ (приложение М).

Для реализации разработанной технологии на основании результатов исследования была разработана техническая документация на изготовление производственных образцов нейтрализатора СКЭ и шнеко-лопастного смесителя. При определении геометрических параметров производственного образца

* Производственные испытания разработанной технологии ВКК проводились совместно с аспирантами ФГОУ ВПО РГАТУ М.А. Коньковым и А. А. Полункиным.

нейтрализатора СКЭ исходили из принятой технологии переработке кукурузы на крахмал. На момент проектирования нейтрализатора кислотности сгущение экстракта проводили в выпарных установках типа ВВ-75, выход разового цикла которых составляет 5 м^3 . Учитывая технологические особенности конкретного производства, имеющиеся мощности, помещения и мнения специалистов ОАО «Ибренькрахмалпатока» было принято решение ограничить объем СКЭ предназначенного для нейтрализации за один цикл $2,5\text{ м}^3$.

Таким образом, с учетом полученных результатов исследования были установлены объемы камер нейтрализатора, для СКЭ $\approx 2,7\text{ м}^3$, водного раствора реагентов – $0,27\text{ м}^3$. Толщина стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора была принята на основании расчета и составила 2мм. Материал для изготовления был рекомендован – листовая сталь 12Х18Н10Т. Краны для обеспечения перенаправления потока СКЭ марки КНЗК-16-50Р-2. Трубопровод нейтрализатора изготовлен из труб диаметром 50 и 60мм, материал – нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т. Насос смеситель АХ-50×32×100К – СД.

Для осуществления пропорционального смешивания в трубопроводе между камерой для приготовления раствора реагентов и насос-смесителем предусмотрен фланец с калиброванным отверстием диаметром 0,015 м.

Изготовителем производственного образца нейтрализатора СКЭ выступило ЗАО «Газтехпром» (п. Лесной, Рязанской области) (приложение Н).

По заказу ОАО «Ибренькрахмалпатока» на основании договора № 012309 от 23 января 2009 года, был изготовлен нейтрализатор СКЭ (приложение П).

В перспективе предусматривалось использование двух нейтрализаторов СКЭ для обеспечения непрерывной работы технологической линии приготовления ВКК.

Производственный образец нейтрализатора СКЭ представлен на рисунке 5.1.

Принципиальным отличием производственного образца нейтрализатора СКЭ является наличие отстойника 1 с крышкой 2 расположенного в нижней части внутреннего цилиндра, предназначенного для сбора нерастворенных реагентов и их примесей, и фланца 3 с калиброванным отверстием (рис.5.2)

Краткая техническая характеристика представлена в таблице 5.1



Рисунок 5.1 – Нейтрализатор СКЭ производства ЗАО «Газтехпром».

Таблица 5.1. – Техническая характеристика нейтрализатора СКЭ.

Показатель	Значение
Габаритные размеры, мм	2450×1640×1670
Объем ёмкости СКЭ, м ³	2,90
Объём ёмкости раствора реагентов, м ³	0,30
Частота вращения мешалки, с ⁻¹	1,0...3,0
Подача насоса-смесителя, м ³ /с	8,0...14,5
Мощность привода мешалки, Вт	1500
Мощность насоса АХ-50×32×100К – СД, Вт	2300

За основу, при изготовлении производственного образца шнеколо-пастного смесителя использовали его лабораторный макет (глава 3).

Шнеко-лопастной смеситель предусматривалось устанавливать в линию приготовления ВКК ОАО «Ибретькрахмалпатока. По техническому заданию предусматривалось обязательным условием использование всего объема получаемых ППКПП, ОКМ и СКЭ для приготовления ВКК, при этом должна быть обеспечена

производительность производственного образца шнеко-лопастного смесителя в диапазоне 1,39 ... 1,67 кг/с.



Рисунок 5.2 – Нижняя часть нейтрализатора СКЭ.

С макета смесителя демонтировали бункер 6 ОКМ и емкость СКЭ 9. Изменили передаточное отношение цепной передачи, путем замены ведомой звездочки привода рабочего органа 4. Удалили возвратное устройство 11, которое использовали при экспериментальных исследованиях (рис. 3.12). На смешивающие лопасти 3 были установлены жиклеры 4 с диаметром отверстия 0,004 м (рис. 3.14).

Мембранный насос 7 шнеко-лопастного смесителя доработали следующим образом (рис.3.12). Между мембраной 1 и крышкой 2 установили коническую пружину 3 с усилием сжатия 98Н (рис. 5.3). Крышку мембранного насоса 1 снабдили лепестковым обратным клапаном 2 (рис. 5.4).

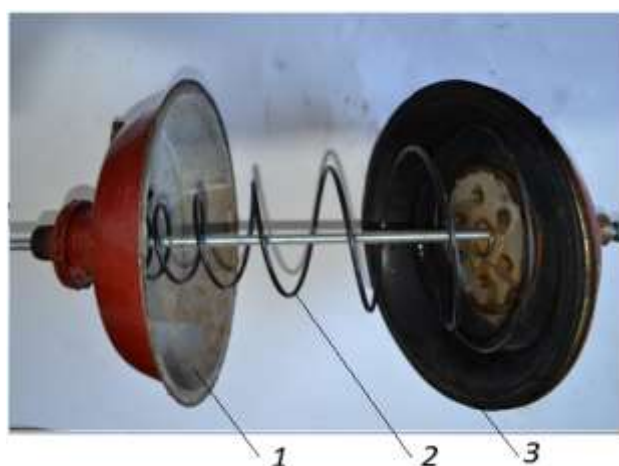


Рисунок 5.3 – Мембранный насос производственного образца шнеко-лопастного смесителя.



Рисунок 5.4 – Крышка мембранного насоса с лепестковым обратным клапаном.

Внешний вид производственного образца шнеко-лопастного смесителя представлен на рисунке 5.5, техническая характеристика в таблице 5.2.



1– корпус; 2– рабочий орган; 3 – мотор-редуктор; 4 – цепная передача; 5 – мембранный насос СКЭ

Рисунок 5.4 – Производственный образец шнеко-лопастного смесителя ВКК.

Таблица 5.2 –Техническая характеристика шнеко-лопастного смесителя

Показатели	Значения
Габаритные размеры, м	0,57×30,80×0,14
Диаметр винтовой наливки, м	0,30
Шаг винтовой наливки, м	0,27
Частота вращения рабочего органа, с ⁻¹	1,6
Производительность смесителя, кг/с	1,3...1,7
Мощность привода рабочего органа, Вт	3000

Подача СКЭ в нейтрализатор 1 осуществлялась после его уваривания и отстоя. ОКМ подавалась непосредственно в смеситель 2 шнековым транспортом после

обезвоживания, от ситовых прессов. Удаление готового ВКК осуществлялось транспортером в бункер временного хранения 1 с последующей отгрузкой в транспортные средства 2 (рис 5.5). Монтаж оборудования и пуско-наладочные работы были закончены 20 декабря 2009 года.

Для обеспечения производственных испытаний, подачи реагентов, фиксации интересующих показателей и отъема проб над нейтрализатором был сооружен помост (рис. 5.6).

Производственные испытания технологической линии приготовления ВКК с предварительной нейтрализацией СКК проводили в два этапа согласно методике представленной в разделе 3.6.1.

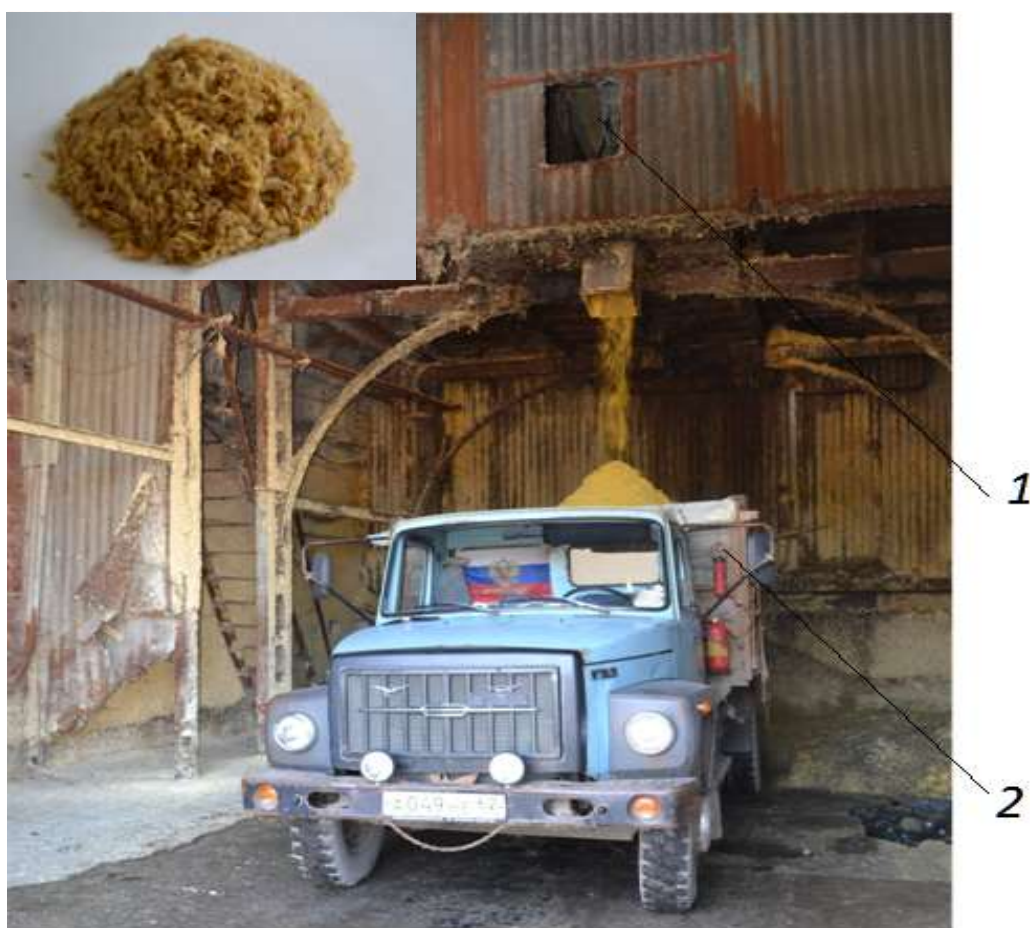


Рисунок 5.5 – Загрузка ВКК.

Испытания производственного образца нейтрализатора СКЭ проводились с 11 января по 1 февраля 2010 года. За время испытаний было приготовлено 1538, 230 тонн ВКК (приложение Р).

Испытание производственного образца шнеко-лопастного смесителя проводили с 14 ноября по 15 декабря 2011 года, в результате приготовлено 125 тонн ВКК (приложение С).

Исходные компоненты для приготовления ВКК представлены на рисунке 5.7



Рисунок 5.6 –Производственные образцы нейтрализатора СКЭ и шнеко-лопастного смесителя при испытании.



ОКМ



СКЭ

Рисунок 5.7 – Компоненты ВКК.

В результате производственной проверки разработанной технологической линии приготовления кормов установлено:

– производственные образцы нейтрализатора СКЭ и шнеко-лопастного смесителя работоспособны и обеспечивают непрерывность линии приготовления ВКК;

– время нагревания СКЭ до максимально возможной температуры 40...43° составило 2160...2460 с;

– время нейтрализации СКЭ до достижения рН = 6,2...6,4 составило 1200...1500 с, при этом его температура дополнительно повысилась на 1...3°С.

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

– производительность производственного образца шнеко-лопастного смесителя – 1,5 кг/с;

– удельные затраты энергии на процесс нейтрализации кислотности $(38,0...44,4) \times 10^{-5}$ 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%.

Производимый ВКК имеет кашеобразное состояние, желто-коричневый цвет (рис 5.8), хлебный запах и слабокислый вкус.



Рисунок 5.8– ВКК.

При выполнении производственных испытаний было произведено ВКК с 18 по 30 августа 2003 года – 57,6 тонн, с 1 января 2006 года по 31 декабря 2009 – 94021,740 тонн, с 11 января по 1 февраля 2010 года – 1538,230 тонн, с 14 ноября по 15 декабря 2011года – 125 тонн. В итоге 95742,77 тонны, которые были

реализованы производителям продукции животноводства Рязанской, Владимирской и Московской областей (приложения М, Р, С и Т).

Внедрение разработанной технологии показало, что ОКМ и СКЭ возможно использовать в полном объеме путем приготовления ВКК соответствующих зоотехническим требованиям. При этом исключить выброс СКЭ в окружающую среду, тем самым решив экологическую проблему с его утилизацией.

5.1.2 Результаты эффективности использования ВКК

В настоящее время зарубежные предприятия по производству крахмалопаточной продукции широко рекламируют ППКПП в роли исходного сырья для приготовления кормов. Кроме этого известна тенденция развития современного кормопроизводства путем замены дорогостоящих зерновых компонентов на побочные продукты пищевых перерабатывающих производств.

Как было сказано выше, изначально СКЭ в составе ВКК не превышало 10 %. При внедрении в производство разработанной технологии приготовления ВКК необходимо было убедиться в востребованности конечного продукта и его эффективности использования.

Для определения места исследования был проведен мониторинг покупателей ОКМ. на основании, которого был выбран СПК «Мурминский» Рязанского района Рязанской области. Данное хозяйство использовало ОКМ в рационе дойных коров более трех лет непрерывно. Кроме этого хозяйство имело собственное производство по переработке молока с лабораторией. Это в дальнейшем позволило оценивать качество молока.

Оценивали поедаемость ВКК, его безвредность и качество конечной товарной продукции, а также эффективность его применения. Хозяйственный опыт по скармливанию кормов животным проводили в два этапа. Исследования проводили согласно разработанной методике, изложенной в разделе 3.6.3.

Первый этап исследования проводили с 18 по 30 августа 2003 года. Доставка корма в хозяйство осуществлялась ежедневно.

Для осуществления исследований дойное стадо 128 голов было разделено на две группы по 64 коров. В первой, контрольной, группе в соответствии с принятым в СПК «Мурминский» рационе выдавали 12 кг/сут ОКМ. Во второй опытной группе ОКМ была заменена ВКК в том же количестве.

По завершению первого этапа исследований было установлено:

- ВКК поедался животными в полном объеме, без остатков;
- время поедания ВКК по сравнению с ОКМ значительно сократилось;
- содержание жира и белка в молоке не изменилось;
- состояние животных за период исследования не изменилось

По результатам первого периода исследований был составлен акт (приложение Т).

На втором этапе исследования проводились с целью определения эффективности использования ВКК как альтернативе зерновым концентрированным кормам.

Второй этап исследований проводили с 25 октября по 25 декабря 2003 года.

В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.6.3, было отобрано две группы по 20 коров-аналогов, опытной и контрольной, массой по 450 ± 5 кг с суточной продуктивностью 14 кг/сут, имеющих третий и четвертый период лактации. Рацион кормления был составлен на реальную продуктивность из компонентов, используемых в СПК «Мурминский» (табл. 5.3). Отличие рационов опытной и контрольной групп заключалось в замене 2/3 части концентрированного корма жмыха подсолнечника на ВКК.

Таблица 5.3 – Рацион кормления коров опытной и контрольной групп, кг.

Корма	Масса корма	
	Опытная группа	Контрольная группа
1. Сено	2,8	2,8
2. Солома	5,0	5,0
3. Сенаж	30,0	30,0
4. Концентрированные корма (собственного приготовления)	3,0	1,0
5. Жмых подсолнечный	2,0	–
6. ВКК	–	12,0

В результате исследований установлено:

- средняя продуктивность коров опытной группы – 14кг/сут;
- средняя продуктивность коров контрольной группы – 14кг/сут;
- средняя жирность молока коров опытной группы – 3,6%;
- средняя жирность молока коров контрольной группы – 3,4%.

Результаты исследования показали, что продуктивность животных при замене 2/3 части концентрированных кормов и жмыха подсолнечника на ВКК не изменилась, при этом средняя жирность молока повысилась на 0,2%.

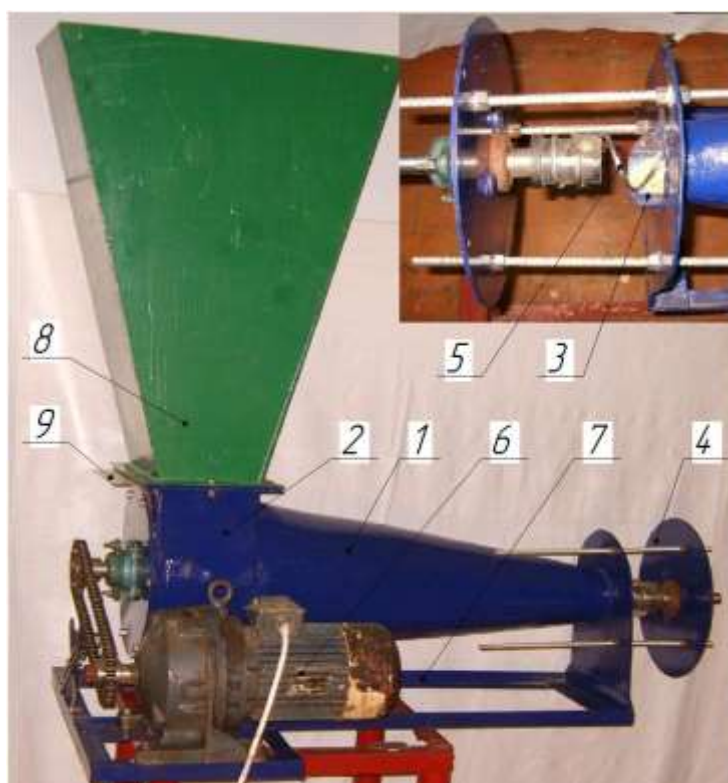
Проведенные исследования и полученные результаты зафиксированы актом (приложение У).

На основании выполненных исследований следует отметить, что ВКК приготовленные по разработанной технологии, из ППКПП являются безвредными и охотно поедаются животными. Результаты исследования по эффективности ВКК в рационах кормления дойных коров позволяют утверждать что, ими можно заменять без ущерба 2/3 доли концентрированных и белковосодержащих кормов. Это позволит значительно сократить расходы на их приготовление или приобретения у сторонних организаций.

5.2 Результаты внедрения в производство спирального смесителя СКК и эффективность их использования

5.2.1 Производственный образец спирального смесителя

Для внедрения в производство на основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен производственный образец спирального смесителя (рис.5.9).



- 1 – корпус,
- 2 – загрузное окно,
- 3 – выгрузное окно,
- 4 – устройство изменения производительности,
- 5 – рабочий орган,
- 6 – мотор редуктор,
- 7 – рама,
- 8 – накопительный бункер,
- 9 – шиберная заслонка.

Рисунок 5.9 – Производственный образец спирального смесителя.

Для обеспечения установленных ранее рациональных параметров была установлена спираль, шаг которой скорректирован и составил 0,085 м (рис 5.10). На ведущей цапфе установлен эксцентриситет спирали равный 0,070 м. Частота вращения рабочего органа производственного образца спирального смесителя составляла $3,8 \text{ с}^{-1}$. При работе производственного образца шиберную заслонку открывали на 0,016 м. Количество перегородок 2 в накопительном бункере зависело от числа компонентов кормовой смеси (рис.3.28). Электродвигатель привода рабочего органа был установлен мощностью 1100 Вт.

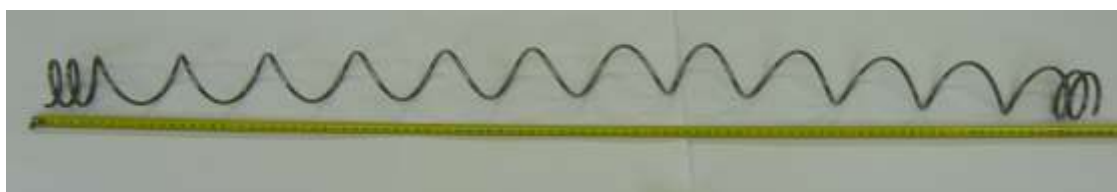


Рисунок 5.10– Спираль.

Техническая характеристика производственного образца представлена в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Технические характеристика спирального смесителя.

Показатели	Значения
Габаритные размеры, м	1,8×0,65×1,45
Внешний диаметр спирали, м	0,065
Внутренний диаметр спирали, м	0,053
Шаг спирали, м	0,085
Частота вращения спирали, с^{-1}	3,8
Производительность, кг/ч	0,33
Мощность привода, Вт	1100
Масса, кг	98

5.2.2 Результаты внедрения спирального смесителя в технологическую линию приготовления СКК**

Испытание технологической линии приготовления СКК проводили в ООО «Рассвет» Рязанской области с 12 мая по 12 июля 2014года. Данное хозяйство

** Производственные испытания спирального смесителя проводили совместно с аспирантом ФГБОУ ВПО РГАТУ Е.Е. Гришковым.

специализируется на откорме крупного рогатого скота мясных пород. СКК приготавливали из ОКМ+СКЭ, кукурузного дробленого зерна и кукурузного жмыха смешивая их в пропорции 75:10:15% (рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – Компоненты СКК.

Компоненты СКК для проведения производственной проверки предоставлялись ОАО «Ибредькрахмалпатока».

Предварительно смесь ОКМ и нейтрализованного СКЭ была исследована в испытательной лаборатории «ПРОВИЛАБ» ООО «ПРОВИМИ» г. Москва, результаты подтвердили высокую кормовую ценность продукта (приложение Ф).

Технологическая линия состоит из производственного образца шнекового смесителя и пневматической дробилки (ДКР-1). Оборудование размещалось в помещении зернового склада хозяйства рис 5.12. Назначение дробилки в технологической линии это подача компонентов в бункер смесителя и доизмельчение зерна кукурузы. Для приготовления СКК из указанных компонентов в бункер накопитель спирального смесителя устанавливали две перегородки. Готовый СКК фасовался в мешки по 30кг и перемещался на животноводческую ферму ООО «Рассвет».

За время испытаний было приготовлено 4670кг СКК (рис. 5.13). Состав СКК представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Качественные показатели СКК (в пересчете на сухое вещество) % .

Показатели	Значения
Влага, %	12,5
Сырая клетчатки, %	11,3
Сырой протеин, %	18,4
Крахмал, %	11,6
Жир, %	4,6
Золы, %	3,4

Кормовая ценность СКК составляет 1,18 к.е., энергетическая – 12,9 МДж.

В результате производственных испытаний было установлено, что спиральный смеситель работоспособен и имеет производительность 0,33...0,38 кг/, удельный расход энергии $(11,1...11,7) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг, степень однородности СКК не менее 94%.

По результатам производственных испытаний спирального смесителя был составлен акт (приложение X).



1 – производственный образец спирального смесителя, 2 – бункер-дозатор, 3 – дробилка ДКР-1, 4 – электроизмерительный прибор К-50.

Рисунок 5.12 – Технологическая линия приготовления СКК



Рисунок 5.13 – Приготовленный СКК.

5.2.3 Результаты эффективности использования СКК

Исследования по эффективности использования СКК в рационах кормления крупного рогатого скота проводились в ООО «Рассвет» Клепековского района Рязанской области в период с 12 мая по 12 июля 2014 года в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.6.3. Как было отмечено выше, приготовление СКК осуществлялось непосредственно в данном хозяйстве (раздел 5.2.2).

В качестве опытных животных использовали бычков-аналогов мясной породы «Лимузин» в возрасте шести месяцев. Было сформированы две группы, контрольная и опытная, по животных массой 150 ± 10 кг. Привес бычков в этом возрасте, по сведениям зоотехнической службы ООО «Рассвет» составлял 700 граммов в сутки.

Существующий в хозяйстве рацион кормления представлен в таблице 5.6, его приняли для кормления контрольной группы.

В опытной группе в рационе кормления $3/4$ части концентрированного зернового корма заменили на 3 кг СКК (таб.5.7).

Таблица 5.6 – Состав кормосмеси бычков контрольной группы, кг.

Корма	Суточное потребление кормов
Сено естественных сенокосов	25,0
Сенаж	8,0
Концентрированные корма	4,0
Мин. добавки	0,3

Таблица 5.7 – Состав кормосмеси бычков опытной группы, кг.

Корма	Суточное потребление кормов
Сено естественных сенокосов	25,0
Сенаж	8,0
Концентрированные корма	1,0
СКК	3,0
Минеральные добавки	0,3

При проведении исследований содержание животных не менялись. Содержание бычков принятое в хозяйстве беспривязное, на глубокой подстилке. корма перед скармливанием смешиваются кормораздатчиком смесителем ИСРК - 12 и выдаются в виде кормосмеси два раза в сутки.

За состоянием животных во время исследований следили сотрудники зооинженерной службы ООО «Рассвет».

В результате исследований по эффективности применения СКК в рационах кормления крупного рогатого скота на откорме установлено, что среднесуточный привес бычков в контрольной группе составил 830гр/сут, а в опытной 920 гр/сут. Таким образом, средний привес животных опытной группы выше на 10,8%. В заключительный период исследования привес бычков в опытной и контрольной группах составил 840гр/сут, что доказывает эффективность применения СКК (приложение X).

5.2.4 Результаты внедрения спирального смесителя в технологическую линию прессования СКК

Производственный образец разработанного смесителя был внедрен в производство ООО «Амкор» расположенного в Шиловском районе Рязанской области. Спиральный смеситель был установлен в технологическую линию гранулирования СКК и осуществлял смешивание ОКМ + нейтрализованный СКЭ ($W=10...14\%$) и жмыха кукурузного ($W=9...12\%$) (рис. 5.14). Соотношение кукурузного жмыха в СКК изменялось от 5 до 30%. Максимальная производительность линии гранулирования до 0,42 кг/с. Предварительно у спирального смесителя установили эксцентриситет 0,070 м, шаг спирали 0,085 м, частоту вращения рабочего органа $5,0 \text{ с}^{-1}$, шиберную заслонку открывали на 0,016 м, обеспечив производительность 0,36...0,42 кг/с.

На рисунке 5.14 представлен спиральный смеситель осуществляющий смешивание компонентов и выгрузку смеси к транспортеру бункера накопителя линии гранулирования.

Техническая характеристика спирального смесителя представлена в таблице 5.4.

Спиральный смеситель был установлен в технологическую линию гранулирования СКК 29 июля, до 5 августа 2014 года были завершены пуско-наладочные работы.



1 – трубопровод подачи ОКМ+СКЭ, 2 – трубопровод подачи кукурузного жмыха, 3 – бункер спирального смесителя, 4 – спиральный смеситель, 5 – шнековый транспортер загрузки бункера линии гранулирования.

Рисунок 5.14 – Спиральный смеситель в линии гранулирования ООО «Амкор». Общий вид линии гранулирования СКК представлен на рисунках 5.15.

Линия гранулирования СКК включает следующее оборудование: производственный образец спирального смесителя 1, трубопроводы подачи компонентов СККК; бункер спирального смесителя 3; шнековый транспортер смеси 4; бункер-накопитель 5; дозатор 6 и увлажнитель 7 пресса 8; ленточно-планчатые транспортеры 9; колонна охлаждения 10 с циклоном 11 и вентилятором 12; 13-пластиковый контейнер (рис 5.18). При испытании на пресс была установлена матрица с отверстиями 0,008 м, так как предусматривалось приготовления кормов для крупного рогатого скота.

Испытание смесителя в технологической линии гранулирования СКК проводили с 6 августа по 18 августа 2014 года. По методике, изложенной в разделе 3.6.1.

Исходные компоненты для производства СКК в гранулированном виде приобретались у ОАО «Ибредькрахмалпатока».

В результате производственных испытаний было приготовлено 67870кг СКК в гранулированном виде.

Технологический процесс происходит следующим образом. Жмых и мезга с экстрактом из секций накопительного бункера попадали в камеру спирального

смесителя, перемешивались, и однородная кормовая смесь из выгрузной горловины поступала в шнековый питатель. Он обеспечивал загрузку бункера временного хранения кормовой смеси. Откуда через щелевой дозатор бункера смесь поступала в увлажнитель и смеситель пресс-гранулятора. В смесителе влага равномерно распределялась по всему объёму корма, который затем поступал в матрицу пресса. Сформированные гранулы из пресса ленточным транспортером подавались в колонну охлаждения. После охлаждения происходила сепарация материала. Гранулы фасовались в пластиковые контейнеры временного хранения, а крошка направлялась на повторное гранулирование.



Рисунок 5.15 – Оборудование линии гранулирования СКК.

Внешний вид полученного продукта характеризуется как гранулы цилиндрической формы диаметром 0,008 м и длиной от 0,0010 до 0,0016 м с глянцевой поверхностью (рис. 5.16). СКК имеет приятный хлебный запах.



Рисунок 5.16 – Гранулированные СКК.

Высокое качество гранул обеспечивается остаточным крахмалом, содержание которого в ОКМ составляет до 12%. В процессе прессования крахмал набухает, при нагревании в прессе клейстеризуется, обеспечивая грануле высокую прочность.

В результате производственных испытаний установлено, что спиральный смеситель работоспособен и имеет производительность 0,33...0,40 кг/с, при этом удельные затраты энергии составили $16,7 \times 10^{-5}$ Вт·с/кг, степень однородности СКК - не ниже 95%.

Показатель удельных затрат энергии спирального смесителя при производственных испытаниях значительно выше, чем при экспериментальных исследованиях. Это произошло по причине использования смеси ОКМ+СКЭ более мелкого помола. Начиная с 2014 года на производстве ОАО «Ибредькрахмалпатока» данную смесь после высушивания на барабанной сушилке дополнительно измельчают с целью увеличения ее объемной массы.

По результатам внедрения спирального смесителя, в технологическую линию производства гранулированного СКК ООО «Амкор» составлен акт (приложение Ц).

В настоящее время не существует государственного стандарта на производство СКК в гранулированном виде, поэтому совместно с сотрудниками ООО «Амкор» были разработаны технические условия ТУ 9189-001-26691792-2014, которые были введены в действие 1 июля 2014 года.

По законодательству РФ гранулированный СКК может быть сертифицирован в добровольном порядке.

По результатам исследования состава гранулированного СКК ФБУ «РЯЗАНСКИЙ ЦСМ» был выдан протокол испытаний №2646 от 26.06.2014 на соответствие ветеринарно-санитарным требованиям РФ. Экспертизу на токсичность гранулированного СКК проводили в ГБУ РО «Рязанская областная ветеринарная лаборатория» в результате, которой было выдано заключение №2013 от 18 июля 2014 года. Экспертизой гранулированный СКК признан не токсичным (приложение Ш).

На основании соответствия гранулированного СКК ТУ 9189-001-26691792-2014, протокола испытаний №2646 от 26.06.2014г и заключения экспертизы №2013 от 18.06. 2014г ООО "Региональный центр сертификации и мониторинга качества" выдал СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ № РОСС RU. АЯ39.НО2387 (приложение Щ).

Наличие сертификата соответствия на гранулированный СКК подтверждает его безвредность и ценность как кормового продукта, кроме того способствовало его распространению и продвижению на рынке аналогичной продукции.

5.2.5 Результаты эффективности использования гранулированного СКК

Исследования эффективности использования гранулированного гранулированного СКК проводили в ООО «Агрокапитал» Рязанского района Рязанской области с 11августа по 9 октября 2014 года.

Направление хозяйственной деятельности ООО «Агрокапиталл» производство молока, коровы голштино-фризской породы содержатся беспривязно, доение – двукратное, происходит в доильном зале на установке «Dairy master». Комбинированные корма выдаются автоматической системой «Feed-Rite» во время доения.

В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.6.3, для исследования были отобраны коровы на третьем и четвертом периодах лактации, живой массой 522 ± 20 кг и среднесуточным удоем $19,2 \pm 0,2$ кг из которых сформировали опытную и контрольную группу по 15 животных.

На момент проведения исследований в рационе животных использовали комбикорм П-60-3, производитель ООО «Скопинский комбикормовый завод», норма выдачи на одну корову составляла 8кг/сут.

При исследовании производили замену $\frac{1}{2}$ части суточной нормы комбикорма на гранулированные СКК. Таким образом, животные контрольной группы получали по 8 кг/сут комбикорма, а опытной 4кг/сут комбикорма и 4 кг/сут гранулированного СКК. При этом при приготовлении гранулированного СКК использовали 70% смесь ОКМ + нейтрализованный СКЭ и 30% кукурузного жмыха.

При проведении исследований в опытной и контрольной группах коров определяли средний удой, а в пробах молока – качественные параметры.

В результате исследований установлено;

1. Продуктивность животных опытной группы – 19,3 кг/сут;
2. Продуктивность животных контрольной группы – 19,2/кг/сут;
3. Качественные показатели молока опытной группы: жир – 3,87 %, белок – 3,21%;
4. Качественные показатели молока контрольной группы: жир – 3,85 %, белок – 3,22%.

Дополнительно следует отметить, что гранулированные СКК поедались охотно, их остатков в кормушке после доения не наблюдалось. Изменений касающихся состояния животных, за период исследований не обнаружено.

Анализируя полученные результаты исследований, следует, что показатели продуктивности животных и качества молока в группах практически одинаковы. Поэтому можно сделать вывод, что применение гранулированных СКК является эффективным, ими возможна замена значительной части дорогостоящих комбикормов без ущерба продуктивности животных и качества производимой продукции.

Для более точного подтверждения эффективности использования гранулированный СКК требуется более длительный период кормления коров.

По результатам исследований составлен акт (приложение Э).

5.3 Результаты экологических исследований

Производственная мощность кукурузоперабатывающего производства ОАО «Ибренькрахмалпатока» составляет до 450 т/сут. Годная потребность в сырье составляет более 165500 тонн зерна кукурузы. Отсюда интерес, экологических служб региона обращен на степень техногенного давления крахмалопаточного предприятия ООО «Ибренькрахмалпатока» на реку Ибрень.

Результаты исследования экологических показателей реки Ибрень под техногенным воздействием ОАО «Ибренькрахмалпатока» приведены в таблице 5.8. В ней отражена динамика гидрохимических показателей до и после внедрения

технологии приготовления ВКК из ППКПП с предварительной нейтрализацией кислотности СКЭ.

Обнаруженные вещества в промышленных стоках крахмалопаточного производства, отрицательно влияют на экосистему, так как снижают концентрацию растворенного кислорода в среде, что вызывает перегруппировку микрофлоры и микрофауны водоемов, нарушают его экологическое равновесие.

На рисунке 5.17 представлена характеристика экологического состояния реки Ибреть, на которую, в течение долгого времени, оказывалось техногенное давление со стороны крахмалопаточного производства.

Так, гидрохимические исследования в створах, расположенных вблизи сброса загрязнителей до 2011 года, указывают на 1 и 2 типы загрязнения реки Ибреть. Это определяет неблагоприятный химический состав поверхностных вод и донных отложений водотока, приводит к проблемам энергетического, азотистого обмена в экосистеме.

До 2011 года жидкие отходы крахмалопаточного производства сбрасывались непосредственно в реку Ибреть, что нанесло ей высокий экологический ущерб. После внедрения разработанной технологии приготовления ВККК из ППКПП с предварительной нейтрализацией СКЭ наблюдается положительная динамика по восстановлению экологии реки Ибреть. По химическому и биологическому

Таблица 5.8 – Тип загрязнения водотока реки Ибреть.

Показатели	Единицы измерения	ПДК	Динамика гидрохимических показателей водотока		
			до внедрения нейтрализатора	после внедрения нейтрализатора	
				2011-2014 гг.	2015-2018 гг.
поверхностные воды, мг/дм ³					
1	2	3	4	5	6
медь	мг/дм ³	1,1	0,004	0,004	0,004
цинк	мг/дм ³	1,1	0,008	1,2	0,005
железо	мг/дм ³	0,4	0,11	0,17	0,
марганец	мг/дм ³	0,2	0,005	0,06	0,05
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	3	2,8	2,5	4,0

ХПК	мг/дм ³	15	36	21	14
взвешенные вещества	мг/дм ³	0,25-0,75	3,0	1,2	2,6
сухой остаток	мг/дм ³	-	380	760	200
хлорид-ион	мг/дм ³	200	250	150	100
сульфат-ион	мг/дм ³	100	160	90,0	35,0
фосфат ион(поР)	мг/дм ³	0,4	0,9	0,7	0,5
аммоний-ион	мг/дм ³	0,5	2,6	1,2	0,3
нитрит-ион	мг/дм ³	0,1	0,05	0,08	0,1
нитрат-ион	мг/дм ³	40	58	46	35
нефтепродукты (суммарно)	мг/дм ³	0,05	0,07	0,04	0,02
фенолы	мг/дм ³	0,001	0,002	-	-
аПАВ	мг/дм ³	0,1	0,6	0,02	0,01
гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	-	242,5	-	-
донные отложения, мг/кг					
цинк	мг/кг		1,6	1,2	0,6
кадмий	мг/кг		0,2	0,2	0,2
свинец	мг/кг		0,6	0,6	0,6
медь	мг/кг		1,1	1,1	1,1
нефтепродукты	мг/кг		55	25	10

потреблению кислорода судят о самовосстановлении реки. Исходя из того, что оба показателя приближаются к ПДК, в результате наблюдается положительная динамика гидрохимических процессов, экология приходит в норму. По химическому и биологическому потреблению кислорода судят о самовосстановлении реки. Исходя из того, что оба показателя приближаются к ПДК, поэтому можно сказать, что наблюдается положительная динамика гидрохимических процессов и экология приходит в норму.

Приготовление ВКК по разработанной технологии дает возможность кукурузоперерабатывающим предприятиям использовать СКЭ в полном объеме и исключить его сброс в окружающую среду, не создавая экологическую проблему. Таким образом, внедрение разработанной технологии позволяет получить

дополнительную прибыль от их реализации и избежать затрат на очистные сооружения, а так же штрафов за нарушение экологического законодательства.

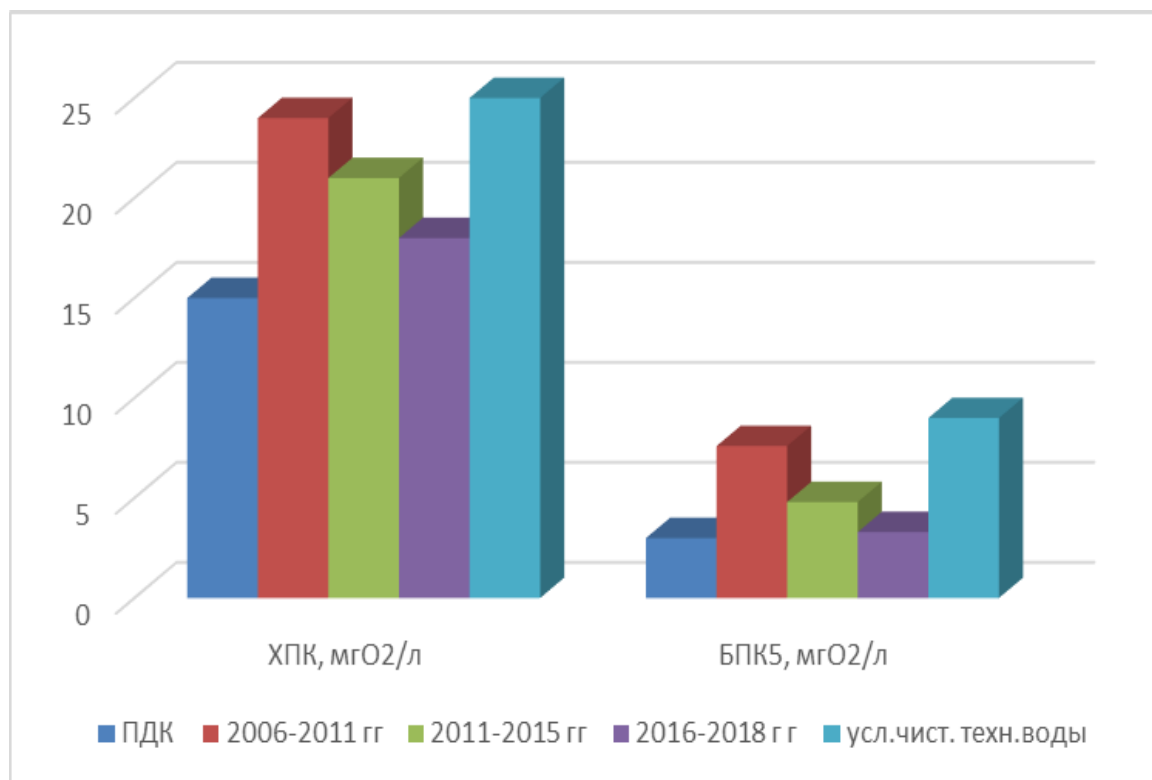


Рисунок 5.17 – Динамика гидрохимических показателей водотока Ибреть до и после внедрения технологии приготовления ВКК из ППКПП с предварительной нейтрализацией СКЭ.

По сравнению с периодом до 2011 года, когда жидкие стоки крахмалопаточного предприятия свободно поступали в водоток, а не перерабатывались на предприятии, показатели химическое потребление кислорода (ХПК) поверхностных вод реки снизились на 25 %, биохимическое потребление кислорода (БПК) – на 56,6 %.

5.4 Оценка экономической эффективности результатов исследования

5.4.1 Экономическая эффективность технологии приготовления ВКК и их использования

По результатам выше представленных исследований было разработано и внедрено две технологии приготовления ВКК. Первая – заключающаяся в смешивании ОКМ и СКЭ, который нагревался предварительно перед нейтрализацией кислотности за счет тепловой энергии пара, данная технология

была внедрена в производство ОАО «Ибретькрахмалпатока» в 2003 году (далее по тексту – технология 1). Вторая – позволяющая проводить нагревание СКЭ в разработанном нейтрализаторе за счет теплоты образуемой в процессе приготовления водного раствора реагентов, оксида кальция и гидроксида натрия реализованная в 2011 году (далее по тексту – технология 2).

Расчет проводился в соответствии с методиками, изложенными в аналогичных работах [37, 92, 55, 216]. Стоимость технических средств принимали с учетом реальных цен на аналогичное оборудование в 2020 году. Стоимость необходимого оборудования технологических линий с учетом доставки, монтажа и пуско-наладочных работ представлена в таблице 5.9.

Приведенные эксплуатационные затраты определяются по выражению

$$\Xi = Z_{a.o.} + Z_{TOPX} + Z_{з.п.} + Z_{э.э.} + Z_{газ}, \text{ руб/т} \quad (5.1)$$

где: $Z_{a.o.}$ – затраты на амортизацию оборудования, руб/т; Z_{TOPX} – затраты на TOPX, руб/т; $Z_{з.п.}$ – заработная плата, руб/т; $Z_{э.э.}$ – затраты электроэнергии, руб/т; $Z_{газ}$ – затраты газа, руб/т

Затраты на амортизацию оборудования

$$Z_{a.o.} = \frac{C_{об} \cdot A_{об}}{Q \cdot t}, \text{ руб/т} \quad (5.2)$$

Таблица 5.9 – Оборудование технологических линий приготовления ВКК.

№	Наименование оборудования	Базовая технология		Технология 1		Технология 2.	
		Мощность, кВт	Стоимость, тыс., руб	Мощность, кВт	Стоимость, тыс., руб	Мощность, кВт	Стоимость, тыс., руб
1	Ёмкость временного хранения СКЭ	–	450,0	–	450,0	–	450,0
2	Бункер дозатор ОКМ	–	–	1,5	468,64	1,5	468,64
3	Насос СКЭ	1,5	59,80	1,5	59,80	1,5	59,80
4	Ёмкость нейтрализации СКЭ	–	–	1,5	165,08	1,5	–
5	Нейтрализатор СКЭ	–	–	–	–	3,7	771,24*
6	Смеситель раствора реагента	–	–	1,1	290,38	–	–
7	Насос раствора реагентов	–	–	1,5	59,9	–	–

8	Насос-дозатор нейтрализованный по СКЭ	–	–	1,5	77,52	–	–
9	Шнековый смеситель	5,0	571,26	5,0	571,26	–	–
10	Шнеко- лопастной смеситель	–	–	–	–	3,0	617,8**
11	Транспортер ВКК	1,5	114,42	1,5	114,42	1,5	114,42
12	Бункер временного хранения ВКК	–	716,72	–	716,72	–	716,72
	Итого:	8,0	1911,9	15,1	2973,42	12,7	3198,32

* Стоимость нейтрализатора СКЭ на основании сметы договора №012309 с учетом стоимости материала и затрат на изготовления в ценах 2020г.

**Стоимость шнеко-лопастного смесителя определяли как среднее значение аналогичных машин.

где: $A_{об}$ - норма амортизации оборудования ($A_{об}=0,142$); $C_б$ – балансовая стоимость оборудования, руб; Q – производительность машины, т/ч; t – рабочее время машины, час.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт

$$Z_{торх} = \frac{C_б \cdot B}{Q \cdot t}, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

где: B – норма отчислений на техническое обслуживание и ремонт ($B=0,18\%$).

Заработная плата обслуживающего персонала определяется по выражению

$$Z_{з.п.} = \frac{П_ч \cdot T_{см} \cdot n_{см} \cdot D_{р} \cdot z}{Q \cdot t}, \text{ руб/т} \quad (5.4)$$

где: $П_ч$ – часовая оплата труда, руб/ч; $T_{см}$ – продолжительность смены, ч
 $n_{см}$ – число смен; $D_{р}$ – количество рабочих дней в году; z – количество рабочих.

Затраты на электроэнергию определяются по выражению

$$Z_{э.э.} = \frac{Ц_э \cdot N \cdot D_p \cdot t_{р.}}{Q \cdot t}, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

где: $Ц_э$ – стоимость 1 кВт·ч; N – потребляемая мощность, кВт; T_i – время работы в году.

Стоимость электроэнергии в 2020 году для предприятий составляла 5,4 руб/кВт ч.

В технологии 1 предварительный подогрев СКЭ для осуществления процесса нейтрализации кислотности осуществляли паром от общезаводской котельной.

Затраты на газ определяли по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{газ}} = q \times C_{\text{газ}}, \text{ руб/т} \quad (5.6)$$

где: q – расход газа для нагрева СКЭ, м³/т; $C_{\text{газ}}$ – стоимость газа, руб/м³.

По сведениям ОАО «Ибретькрахмалпатока для подогрева экстракта расход газа составлял 9... 11 м³/т, для расчетов примем среднее значение $q = 10$ м³/т.

Стоимость газа для промышленных предприятий на декабрь 2020 года составляла $C_{\text{газ}} = 6,6$ руб/м³

Удельные капиталовложения определим по формуле

$$УКВ = \frac{C_6}{Q \cdot t}, \text{ руб/т} \quad (5.7)$$

В результате можем определить удельные приведенные затраты

$$УПЗ = \mathcal{E} + УКВ \times E, \text{ руб/т} \quad (5.8)$$

где E – коэффициент эффективности капитальных вложений ($E = 0,1$).

Результаты расчета эксплуатационных затрат представлены в таблице 5.10.

Полученные данные (табл. 5.10) позволяют сделать предварительное заключение о приведенных затратах. Самые большие затраты у технологии 1, это связано с затратами на подогрев СКЭ для проведения его нейтрализации. Минимальные расходы у базовой технологии, это можно объяснить минимальным оборудованием. При этом стоит учитывать, что использование базовой технологии позволяет использовать только 10% СКЭ, а остальное количество остается не востребованным и создает большую экологическую проблему.

По данным ОАО «Ибретькрахмалпатока» годовой выход СКЭ составляет 6572 т/год. При использовании базовой технологии 657 тонны используется в кормах, а 5915 тонн сбрасывается в окружающую среду.

Средняя стоимость СКЭ на декабрь 2020 года составляла 1850 руб/т.

Таким образом, можем определить недополученную прибыль

$$НД = K_3 \times C_3, \text{ тыс. руб} \quad (5.10)$$

где: K_3 - годовой выход СКЭ, т/год; C_3 - стоимость экстракта, руб

$$НД = 5915 \times 1850 = 10\,942,7 \text{ тыс. руб/год}$$

Таблица 5.10 – Эксплуатационные затраты на производство ВКК.

№	Показатели	Базовая технология	Технология 1	Технология 2
1	Затраты:			
	амортизация, руб/т	6,64	8,80	9,46
	оплата труда, руб/т	25,18	25,18	25,18
	ТОРХ, руб/т	8,54	11,16	12,16
	электроэнергия, руб/т	9,2	14,8	12,4
	газ, руб/т	–	76,0	–
2	Удельные эксплуатационные затраты, руб/т	49,56	135,94	59,2
3	Удельные капитальные вложения, руб/т	47,44	62,86	67,62
4	Удельные приведенные затраты, руб/т	54,30	142,23	65,96

Кроме того предприятие на основании статьи 24.5 закона РФ « Об отходах производства и потребления» от 24.07.1998г №89 – ФЗ осуществляет платежи за нанесение вреда экологии в размере 284 руб/т. Экологический сбор можно определить как

$$\mathcal{E}C = K_{\mathcal{E}} \times ПЭ, \text{ тыс. руб /год} \quad (5.11)$$

где $ПЭ$ - платежи за нанесение вреда экологии, руб

$$\mathcal{E}C = 5915 \times 284 = 1679,8 \text{ тыс. руб/год}$$

На основании выше представленного следует, что предприятие несет убытки от нереализованных 90% СКЭ в размере

$$У = НД + \mathcal{E}C, \text{ тыс. руб} \quad (5.12)$$

$$У = 10\,942,7 + 1679,8 = 12622,5 \text{ тыс. руб/год}$$

Определим годовую выручку от реализации ВКК

$$В = O_{\text{вкк}} \times Ц_{\text{вкк}}, \text{ тыс. руб} \quad (5.13)$$

где: $O_{\text{вкк}}$ – количество ВКК произведенных за год, т; $Ц_{\text{вкк}}$ – цена реализации СКК, тыс. руб. Цена реализации ВКК в 2020 году составляла 1300 руб/т.

По базовой технологии $O_{вкк}=40296 \text{ т/год}$.

$$B_{б.т.} = 40296 \times 1,3 = 52384,8 \text{ тыс. руб}$$

По технологии 1 $O_{вкк}=47304 \text{ т/год}$

$$B_{т.1} = 47304 \times 1,3 = 61495,2 \text{ тыс. руб}$$

По технологии 2 $O_{вкк}=47304 \text{ т/год}$

$$B_{т.2} = 47304 \times 0,65 = 30747,6 \text{ тыс. руб}$$

Годовая выручка ВКК произведенного по технологиям 1 и 2 одинакова, так как ОКМ и СКЭ используются в полном объеме.

Себестоимость ВКК определим по выражению

$$C = O_{вкк} \times УПЗ, \text{ тыс. руб} \quad (5.14)$$

Для базовой технологии

$$C = 40296 \times 54,30 = 2188,07 \text{ тыс. руб}$$

В данном случае к себестоимости ВКК произведенных по базовой технологии следует отнести экологический сбор за выброс не использованного СКЭ.

$$C_{б.т.} = 2188,07 + 1679,8 = 3867,9 \text{ тыс. руб}$$

Для технологии 3003года себестоимость составит

$$C_{т.1} = 47304 \times 142,23 = 6728,1 \text{ тыс. руб}$$

По технологии 2011года

$$C_{т.2} = 47304 \times 65,96 = 3120,17 \text{ тыс. руб}$$

Коэффициент экономической эффективности определим как

$$K_{э.э.} = \frac{B}{C} \quad (5.15)$$

По базовой технологии

$$K_{э.э.б.т.} = \frac{52384,8}{3867,9} = 13,5$$

По технологии 2003года

$$K_{э.э.т.1} = \frac{61495,2}{6728,1} = 9,1$$

По технологии 2011года

$$K_{э.э.т.2} = \frac{61495,2}{3120,17} = 19,7$$

Коэффициент экономической эффективности позволяет оценить взаимосвязь между результатами производства ВКК и их себестоимостью. По результатам расчета коэффициентов эффективности видно, базовая технология имеет преимущество над технологией 1. При этом базовая технология не обеспечивает использование всего объема СКЭ для приготовления ВКК и делает их менее качественными. Технология 2 года позволяет использовать СКЭ в полном объеме, при этом она имеет минимальные производственные затраты и самый высокий коэффициент экономической эффективности.

Определим прибыль производства как разницу годовой выручки от реализации кормов ВКК приготовленного по разным технологиям, учитывая что

$$B_{m.2} = B_{m.1}$$

$$\Pi = B_{m.2} - B_{б.т.}, \text{ тыс. руб} \quad (5.16)$$

$$\Pi = 61495,2 - 52384,8 = 9110,4 \text{ тыс. руб/год}$$

Таким образом, при внедрении технологии 2 предприятие дополнительно получает прибыль в размере 9110,4 тыс. руб/год.

Годовую экономическую эффективность от внедрения технологии 2011 определим по формуле

$$\text{ЭЭ} = O_{вкк} \times (УПЗ_{m.1} - УПЗ_{m.2}), \text{ тыс. руб/год} \quad (5.17)$$

$$\text{ЭЭ} = 47304 \times (142,23 - 65,96) = 3607,8 \text{ тыс. руб/год}$$

Ориентировочный срок окупаемости технологии 2 составит

$$CO = \frac{C_б}{\Pi} \quad (5.18)$$

$$CO = \frac{3198,32}{9110,4} = 0,35 \text{ года}$$

На основании расчетов доказано, что годовая экономическая эффективность от внедрения технологии приготовления ВКК с предварительной нейтрализацией СКЭ составляет 3607800 рублей, при сроке окупаемости 0,35 года, дополнительная прибыль при этом составит 9110400 руб/год.

Экономическую эффективность использования ВКК в рационах кормления крупного рогатого скота рассчитаем на примере дойного стада 128 дойных коров ООО «Мурминский» в котором проводили исследования (приложение У).

При исследовании в рационе кормления животных замещали 2 из 3 кг концентрированных кормов и 2 кг жмыха подсолнечника 12 кг ВКК.

Средняя цена на концентрированные корма на 2020 год составляла 20,5 руб/кг, жмыха подсолнечника – 20,0 руб/кг, ВКК – 1,3 руб/кг.

Таким образом затраты на концентрированные корма и жмых подсолнечника для одного животного составят 101,5 руб/сут, при замене ВКК затраты составят 36,1 руб/сут.

Годовые затраты на корма определим как

$$Z = D \times N \times Z_{сут}, \text{ руб} \quad (5.19)$$

где: D- количество дней кормления; N – количество животных, гол; $Z_{сут}$ – суточные затраты на корм, руб.

Годовые затраты при использовании концентрата и жмыха

$$Z_{к.к.+жмых} = 365 \times 128 \times 101,5 = 4742080 \text{ руб}$$

Годовые затраты при использовании ВКК

$$Z_{ВКК} = 365 \times 128 \times 36,1 = 1686592 \text{ руб}$$

Годовой экономический эффект от применения ВКК

$$\mathcal{E}_{ВКК} = Z_{к.к.+жмых} - Z_{ВКК}, \text{ руб/год} \quad (5.19)$$

$$\mathcal{E}_{ВКК} = 4742080 - 1686592 = 3055488 \text{ руб/год}$$

В результате для данного хозяйства при замене концентрированных кормов жмыха подсолнечника на ВКК возможно получить годовой экономический эффект в сумме 3055488 руб/год (в пересчете на 100 голов 2387100 руб/год).

5.4.2 Экономическая эффективность спирального смесителя СКК

и их использования

Определение показателей экономической эффективности спирального смесителя проводили по известным методикам при его сравнении с ближайшим аналогом [39, 40, 50, 97].

В качестве ближайшего анализа был выбран серийный смеситель ССК-3,7–П–Ф, который может использоваться в технологических линиях приготовления сухих рассыпных комбинированных кормов и гранулированных.

Необходимые данные разработанного спирального смесителя и ССК-3,7-П-Ф представлены в таблице 5.11.

Расчет проводили на основании полученных результатов производственных испытаний спирального смесителя в ООО «Амкор».

При определении численных значений показателей экономической эффективности использовали представленные выше выражения (5.1)...(5.8). Полученные результаты приведены в таблице 5.12.

Экономический эффект определяем по выражению аналогичному (5.17).

$$\text{ЭЭ}_{с.с.} = 2371 \times (205,4 - 183,8) = 51213,6 \text{ руб/год}$$

Таблица 5.11 – Техничко-экономические показатели смесителей.

Показатели	Смеситель ССК-3,7-П-Ф	Спиральный смеситель
Установочная мощность, кВт	3,0	1,1
Производительность, т/ч	1,0...1,5	1,2
Заявленная степень однородности, %	85...95	96..98
Балансовая стоимость, руб.	276 000	167450*
Годовая загрузка, ч	1976	1976
Масса, кг	295	114

* Стоимость производственного образца спирального смесителя определялась на основании изучения цен рынка 2020 года на подобные по конструкции машины.

Срок окупаемости спирального смесителя составит

$$CO_{с.с.} = \frac{C_0}{\text{ЭЭ}_{с.с.}}, \text{ лет} \quad (5.20)$$

$$CO_{с.с.} = \frac{167450}{51213,6} = 3,2 \text{ года}$$

В результате расчета получили, что при внедрении разработанного спирального смесителя в производственную линию гранулирования ООО «Амкор» при приготовлении 2371 тонны СКК возможно получить годовую экономическую эффективность в размере 51213,6 руб/год, при этом срок его окупаемости составит 3,2 года.

Экономическую эффективность использования СКК в рационах кормления дойных коров рассчитаем на примере ООО «Агрокапитал» в котором проводили исследования (приложение Ю).

При исследовании в рационе кормления животных замещали 50% комбинированных кормов СКК. поголовье дойного стада на момент проведения исследований составляло 436 голов.

Средняя цена на комбикорма для крупного рогатого скота на декабрь 2014 год составляла 20,5 руб/кг. Цена гранулированного СКК с с 30% содержанием кукурузного жмыха составляла – 14,3 руб/кг.

Таблица 5.12 – Эксплуатационные затраты на производство ВКК.

№	Показатели	Смеситель ССК-3,7-П-Ф	Спиральный смеситель
1	Затраты:		
	амортизация, руб/т	16,4	9,9
	оплата труда, руб/т	140,2	140,2
	ТОРХ, руб/т	21,0	12,6
	электроэнергия, руб/т	16,2	6,0
2	Удельные эксплуатационные затраты, руб/т	193,8	168,5
3	Удельные капитальные вложения, руб/т	205,4	153,8
4	Удельные приведенные затраты, руб/т	214,3	183,8

Таким образом затраты на комбикорма для одного животного составят 164,0 руб/сут, при замене 50 % СКК затраты составят 139,2 руб/сут.

Годовые затраты на корма определим по выражению(5.19)

где: Д- количество дней кормления; N – количество животных, гол; $Z_{сут}$ – суточные затраты на корм, руб.

Годовые затраты при использовании комбикорма

$$Z_{комб} = 365 \times 439 \times 164,0 = 26206544 \text{ руб/год}$$

Годовые затраты при использовании СКК

$$Z_{комб+СКК} = 365 \times 439 \times 139,2 = 22304712 \text{ руб/год}$$

Годовой экономический эффект от использования СКК определим по формуле (5.19)

$$\mathcal{E}_{\text{СКК}} = 26206544 - 22304712 = 3901832 \text{ руб/год}$$

В результате для данного хозяйства при замене 50 % комбикормов на СКК возможно получить годовой экономический эффект в сумме 3901832 руб/год (в пересчете на 100 голов - 889000 руб/год).

Выводы по пятой главе

На основании производственной проверки технологии и технических средств приготовления кормов из ППКПП с использованием нейтрализованного СКЭ можно указать следующее.

1. Производственная проверка нейтрализатора кислотности показала, что нейтрализация кислотности СКЭ происходит в течении 1200...1500 с при температуре 40...43°C, которая достигается в результате приготовления раствора реагентов за 2100...2400 с.

2. Установлено, что рН СКЭ в нейтрализаторе повышается с 4,2...4,4 до 6,2...6,4 и сопровождается увеличением его температуры на 1–3°C. Производительность нейтрализатора СКЭ составляет 0,69 кг/с при удельном расходе энергии – $(38,0...44,4) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

3. Применение разработанного шнеко-лопастного смесителя в технологической линии ВКК из ППКПП на основе ОКМ и СКЭ позволяет производить кормовые смеси со степенью однородности не менее 93% и удельном расходе энергии $(18,1...20,8) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

4. Производственная проверка показала, что использование спирального смесителя в технологических линиях приготовления рассыпного и гранулированного СКК позволяет получать кормовые смеси, отвечающие зоотехническим требованиям со степенью однородности не менее 94% и удельном расходе энергии $(11,1...11,7) \times 10^{-5}$ Вт·с/кг.

5. Техничко-экономические расчеты показали, что использование разработанной технологии использования ППКПП путем приготовления ВКК позволяет использовать СКЭ в полном объеме и исключить экологический ущерб от его сброса в

окружающую среду. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии при производстве 47304 тонн ВКК с предварительной нейтрализацией СКЭ составил 3607800 руб, срок окупаемости оборудования – 0,35года, дополнительная годовая прибыль – 9110400 руб (расчеты представлены в ценах 2020 года).

Экономический эффект от внедрения спирального смесителя в технологическую линию приготовления гранулированных СКК, при производстве 2371 тонн сухих кукурузных кормовых смесей составит 51213,6 руб, срок окупаемости – 3,2 года.

6. При исследовании эффективности использования ВКК и СКК в рационах кормления крупного рогатого скота установлено, что годовой экономический эффект составит соответственно 2387100 и 889000 руб 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 не рационально, и в первую очередь жидкий экстракт, имеющий кормовую ценность, но из-за кислой среды и высокой влажности безвозвратно теряется, 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 08Х13 – 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 ($W=63\text{...}65\%$) со сгущенным кукурузным экстрактом ($W=58\%$), прошедшим предварительную нейтрализацию кислотности ($\text{pH}=6,0\text{...}6,5$) 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 °C 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 $(6,3\text{...}8,3)\times 10^{-6}$ м³/с, частота вращения мешалки 1,0 ... 3,0 с⁻¹. Время нагревания и энергоёмкость процесса составляют 1500...1620 с и $(7,0\text{...}7,5)\times 10^{-5}$ Вт·с/кг при толщине стенки 0,001 м; 1680...1740 с и $(7,8\text{...}10,8)\times 10^{-5}$ 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 с 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 защемленной по периметру с образованием камеры сгущенного экстракта, и мешалку, выполненную в виде винтового конвейера и полых лопастей, последовательно расположенных на общем полом вала. 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 $1,58...1,75 \text{ с}^{-1}$ 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 эксцентрике 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 м и эксцентриситета в пределах 0,055 до 0,105 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 $(4,2...5,6) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$.

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

Для достижения показателя $\text{pH}=6,2...6,4$ 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 $(38,0...44,4) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$.

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 $(18,1...20,8) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$.

Спиральный смеситель в производственной линии приготовления сухих кукурузных кормов из отжатой кукурузной мезги с 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 $(11,1...11,7) \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{с/кг}$.

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 ППКПП 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 СКЭ, 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 СКК из смеси ОКМ с СКЭ, дробленого зерна и жмыха.

Перспективы дальнейшей разработки темы

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

Разработка и обоснования параметров технологии и технических средств консервирования ВКК в контейнерах длительного хранения.

Разработка и обоснование технологии и технических средств концентрирования СКЭ с одновременной нейтрализацией его кислотности.

Список литературы

1. Автоматические установки для производства комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.С. Дорохов, А.Д. Обухов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 2. – С. 66-71.
2. Агропромышленный портал Agro XXI: сайт. – 2001 [Электронный ресурс] <https://www.agroxxi.ru> (дата обращения 12.04. 2018)
3. Алешкин В.Р. Механизация животноводства. / В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. – С.40 – 63. – 319 с.
4. Алтынбеков, Р.Е. Соотношения между параметрами вертикальных шнеков для получения наибольшей производительности / Р.Е. Алтынбеков, Н.Н. Васильев // Прогрессивные конструкции конвейерных машин для грузов. – Л. -1967.
5. Аналитическое исследование оптимальной частоты вращения комбинированных рабочих органов смесителя / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев, А. В. Прохоров [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 2(38). – С. 65-71.
6. Андреев, Н. Р. Основы производства нативных крахмалов : (Науч. аспекты) / Н. Р. Андреев. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 281с. ISBN 5-89703-027.
7. Андреев, Н.Р. Комплексная переработка зернового сырья на крахмал, корма и спирт/ Н.Р. Андреев, Е.П. Введенская, Л.П. Носовская //Тез.докл. научн-практ. конф. "Современные технологии пищевых продуктов нового поколения и их реализация на предприятиях АПК". – Углич, 2000, 19-20 сентября. – М.: РАСХН, 2008.
8. Антонюк, А.П. Технология производства белково-витаминных минеральных кормовых добавок из отходов пищевой и перерабатывающей промышленности. [Электронный ресурс] Режим доступа: www.cavikorm.ru/img/file/. (дата обращения 10.05. 2016).
9. Артюшин А.А. Системный подход к проектированию кормообеспечения молочных комплексов / А.А. Артюшин // Повышение эффективности промышленного животноводства ВАСХНИЛ. – М.: 1985, – С. 78-87.
10. Афанасьев, П. И. и др. Эффективность использования отходов крахмалопаточного производства в рационах молодняка крупного рогатого скота/ П. И.

Афанасьев и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург. 2005. – Т. 1. – №. 5.

11. Бабинцева, Б. Л., Лосик В. И. К расчету конвективного теплообмена в аппаратах с виброперемешиванием / Б. Л. Бабинцева, В. И. Лосик // ЖПХ.–1980, №11. – С 2475-2478.

12. Байдов, А. В. Технология и агрегат для приготовления комбикорма из плющенного фуражного зерна: дис. кан. тех. наук: 05.20.02 / А. В. Байдов // – Рязань. 2005. – 156с.

13. Баранцева, Е.А. Распределение времени пребывания частиц сыпучего материала в лопастном смесителе непрерывного действия /Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов, Ю.В. Хохлова //Химическая промышленность сегодня. – 2009. – №3. – С. 50-53.

14. Баротермическая обработка ингредиентов комбикормов / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Н. Рассказов, Д.И. Торопов // Инженерные технологии и системы. – 2019. – № 3. – С. 428-442.

15. Бершаков, С.В. Использование кукурузного экстракта в кормопроизводстве / С.В. Бершаков, Н.В. Поливанов, Н.Н. Селезнева и др. // Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения: Мат. XIV межд. науч.-произв. конф. - Белгород. 2010. - С. 107.

16. Богданов Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г.А. Богданов. – М.: Агропромиздат, 1990 – С. 491 – 508.

17. Борисов, Г.С. Основные процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов. – М., Изд-во Химия, 1991. –234с.

18. Боровиков, И.А. Снижение энергоемкости приготовления кормов с обоснованием конструктивно-технологических параметров смесителя: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 / Боровиков И.А. – Пенза.; 2006. – 145с.

19. Брагинец, С. В. Параметры и режимы работы многофункционального кормового агрегата с вертикальным коническим шнеком: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / Брагинец С. В. – зерноград, 2007. – 144 с.

20. Брагинский, Л. Н. Перемешивание в жидких средах / Л.П. Брагинский . – Л.. Изд-во Химия, 1989. – 336 с.

21. Булавин С.А. 1493198, А01К 5/00. Кормоприготовительный агрегат / Булавин С.А., Ужик В.Ф., Воронцов И.И. 4220883/30-15; Заяв. 15.07.89, Бюл. №26.
22. Васильева Л.Г. Методы анализа качества смеси / Л.Г. Васильева, В.К.Мартынов // Вестник Саратовского государственного аграрного университета. – Саратов, 2001. – № 2 – С 6.
23. Влияние частоты вращения мешалки и длины ее лопаток на качество смеси / М.В.Фомина, А.В.Чупшев, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019.– № 1. – С. 63-69.
24. Воронцов С.И. Повышение эффективности приготовления кормосмесей крупному рогатому скоту путем разработки энергосберегающих технологий и средств механизации: автореф. дис. канд. тех. наук / С.И. Воронцов. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2010. –18 с.
25. Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России и охрана окружающей среды / Под общей редакцией академика РАСХН Е.И. Сизенко. – М.: Пищепромиздат,–1999.–468с.
26. Гейфман, В.П. Экспериментальные исследования смесителей кормов непрерывного действия / В.П. Гейфман, Г.М. Кукта, В.Л. Гринберг // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Киев. – 1977. – № 39. – С. 17-22.
27. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах.- М.: Химия, 1981. – 384с.
28. Геррман, Х. Шнековые машины в технологии / Пер. с нем. под ред. Л.М. Фридмана. – Л. 1975. – 230 с.
29. Гольдштейн, В.Г. Побочные продукты крахмалопаточного производства - кормовые компоненты /В.Г. Гольдштейн, Н.Д. Лукин Н.Д., О.И. Радин // Комбикорма. –2018. – № 7-8. –С. 54-56.
30. Горюшинский И.В. Технологические системы обеспечения сырьем комбикормовых и животноводческих предприятий: атореф. дис. докт. наук: 05.20.01 / И. В. Горюшинский. – Оренбург, 2005. – 31с.

31. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
32. Груздев, И.Э. Теории шнековых устройств / И.Э. Груздев, Р.Г. Мирзоев, В.И. Яниев. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1978. – 144 с.
33. Гунько, В. В. Аналитическая модель процесса смешивания / В. В. Гунько, С. Н. Маланчева, Л. В. Межуева // Сб. статей 2-ой международной НТК Проблемы исследования и проектирования машин. – Пенза. 2006. – С. 25-28.
34. Движение тонких слоев сыпучего материала по неподвижным поверхностям гравитационных смесителей и расходомеров./ Д.О. Бытев, А.И. Зайцев, Ю.И. Макаров, В.А. Северцев. // Изд. вузов СССР. Химия и химическая технология. - 1980. - Т.23, №11. - С.1437-1441.
35. Дегтярёв, В. П. Технология и средства механизации животноводства / В. П. Дегтярев, – М.: Столичная ярмарка, – 2010. – 387с.
36. Денщиков, М.Т. Отходы пищевой промышленности и их использование / М.Т. Денщиков. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 616 с.
37. Евсеенков, С.В. Повышение эффективности процесса смешивания компонентов сыпучих кормов: дис. д-ра. техн. наук: 05.20. 01 / Евсеенков С.В. – Челябинск, 1994. – 361 с.
38. Евстратов В.А. Влияние угла наклона образующих шнековой лопасти на эффективность функционирования вертикального винтового конвейера / В.А. Евстратов и др.// Сб.: Науч. труды Шахтинский институт Южно – Российского государственного технического университета, 2006г. – С 67 -70.
39. Жевлаков П.К. Исследование процессов смешивания кормов: автореферат диссертации на соискание ученой ст. канд. техн. наук / Жевлаков П.К.; - Ленинград 1958.
40. Жислин, Я.М. Оборудование для производства комбикормов, обогатительных смесей и премиксов / Я.М. Жислин. – М.: Колос, 1981. – 319с.
41. Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. - 51с.

42. Затраты мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, А.И. Завражнов и др. // Современная наука: теория, методология, практика: мат. 2-ой всерос. (нац.) науч.-прак. конф. –Тамбов, 2020. – С. 241-245.
43. Захаров, Л.М. Глютен кукурузный как отход крахмального производства в рационах кормления высокопродуктивных коров/Л.М. Захаров // Мат. IV Междунар. науч. экологич. конф. «Проблемы рекультивации отходов быта промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар: Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, 2015. – С. 119-121.
44. Иванов, А.Д. Применение отходов крахмало-паточного производства в производстве кормов для сельскохозяйственной птицы / А.Д. Иванов, Н.Л. Мачнева / Сб.: Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: тезисы док. участ. I Междунар. научн.-практич.й конф., под ред. Е.П. Масюткина. – Керчь, 2020. – С. 94-95.
45. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.И. Сыроватка и др. – М., – 2020.– 92с.
46. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 400с.
47. Исаев, Ю.М. Длинномерные спирально-винтовые транспортирующие устройства. Монография. ФГОУ ВПО «УГСХА» / Ю.М. Исаев. – Ульяновск: 2006. – 433 с.
48. Искусственное освещение для проращивания зерна на витаминный корм / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, А.А. Гетманов, С.В. Саенко // Сельский механизатор. – 2018. - №3. – С. 24-25.
49. Использование отходов переработки растительного сырья для получения функциональных кормовых добавок / С.Б. Хусид, И.С. Жолобова, С.Н. Дмитриенко, Е.Е. Нестеренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. –2014. –№ 98. – С. 706-731.
50. Испытания спирального смесителя в производственных условиях / В. В. Утолин, Н.Е. Лузгин, Е.Е. Гришков и др. // Сельский механизатор.– 2018. № 2. С. 26-27.

51. Исследование коэффициента лобового сопротивления лопатки / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев, А. В. Прохоров [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 3(39). – С. 30-36.
52. Исследование параметров шнекового транспортера-распределителя / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, Т. В. Бычкова, И. Е. Бычков // Сельский механизатор. – 2019. – № 3. – С. 12-13.
53. Исследование физико-механических свойств кукурузной мезги / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселёв // Техника в сельском хозяйстве. –2013. –№ 4. – С. 31-32.
54. Исследование энергозатрат шнекового дозатора-смесителя / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. И. Завражнов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 96-101.
55. Исследование эффективности применения кормовых смесей с использованием пророщенного зерна в рационах свиней на откорме / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов, М.А. Семернина // Вестник Курской ГСХА. – 2019. - №3. – С.80-86.
56. Кабанов, В.Д. Влияние различных способов обработки кукурузной мезги на ее питательность В.Д. Кабанов, П.М. Тищенко, Ю.И. Тимошенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6. – С. 67-70.
57. Карташов, Б.А. Компьютерное моделирование процесса смешивания кормов / Б.А. Карташов, А.Н. Токарева, В.Ф. Хлыстунов // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 5. – С. 27-29.
58. Карташов, С.Г. Модульное построение инновационного оборудования для приготовления обогатительных кормовых добавок / С.Г. Карташов, Е.М. Клычев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. –№ 3 (32). –С. 186-197.
59. Кафаров, В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю., Системный анализ процессов химической технологии. М.: Химия, 1988. – 214-298 с.
60. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич – М.: Колос, 1999.-528 с.

61. Комаров, Б.А. Исследование непрерывного процесса смешивания кормов с солями микроэлементов / Б.А. Комаров // Сб.: Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. Изд-во ВНИИМЭСХ Ростов-на-Дону.– 1968. – С 130-134.
62. Комбикормовый агрегат / В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин, В.И. Гриньков, А.В. Байдов // В сб.: Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых: мат. науч.-практ. конф. с междунар. участ. ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2018. – С. 36-40.
63. Конвейерная линия приготовления зеленых кормов / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко, В. Ю. Страхов, О. Р. Заводнова // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 227.
64. Коновалов, В.В. Определение подачи винтового смесителя-конвейера [Электронный ресурс] / В.В. Коновалов, А.С. Фомин // Современные научные исследования. - Концепт. – 2013. – Выпуск 1. Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2013/53588.html>.
65. Конструктивно-технологические параметры спирального смесителя / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.А. Полякова, А.Н. Топильский // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 28-29.
66. Кормановский, Л.П. Обоснование системы технологий и машин для животноводства/ Л.П. Кормановский, Н.М. Морозов, Л.М. Цой. – М.: ИК «Родник», 1999. – 272 с.
67. Костомахин, Н. М. Глютеновые корма и их использование в молочном и мясном скотоводстве / Н. М. Костомахин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – М. 2007. – № 8. – С. 15-19.
68. Костомахин, Н.М. Использование глютенных кормов в скотоводстве / Н.М. Костомахин / Главный зоотехник. – 2006.– № 10. –С. 20-24.
69. Кравчик, Е.Г Оценка безвредности побочных продуктов производства кукурузного крахмала по токсичности плазмы крови крыс / Е.Г. Кравчик // Сб.: Сельское хозяйство - проблемы и перспективы. – Гродно, 2016. – С. 78-84.

70. Кравчик, Е.Г. Химический состав и питательная ценность технологических отходов производства кукурузного крахмала / Е.Г. Кравчик // Сб.: Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: под редак. В.К. Пестиса. – Гродно. – 2018. –С. 122-130.
71. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов / В.В. Воронин, К.А. Адигамов, С.С. Петренко, Р.А.Сизякин // Инженерный вестник Дона. Изд-во Северо-Кавказский научный центр. Ростов-на-Дону – 2012. – №4
72. Кукта, Г.М. Машины и оборудования для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
73. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов : в 2 т. / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1987. – 285с.
74. Купреенко, А. И. Автоматическая система кормления КРС на базе подвешенного роботизированного кормораздатчика / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Техника и технологии в животноводстве. – 2021. – № 3(43). – С. 5-9. – DOI 10.51794/27132064-2021-3-5.
75. Купреенко, А. И. Автоматические системы кормления на молочных фермах КРС / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3(67). – С. 32-37.
76. Купреенко, А. И. Влияние экструзионной обработки на химический состав кормового энергосахаропротеинового концентрата / А. И. Купреенко, В. Е. Гапонова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2020. – № 1(19). – С. 5-11.
77. Купреенко, А. И. Испытания системы автоматического изменения нормы выдачи корма кормовым вагоном / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 4(36). – С. 57-63.
78. Купреенко, А. И. К обоснованию конструктивно-технологических параметров кормового вагона / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко

// Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 3(43). – С. 148-152.

79. Купреенко, А. И. Настройка автоматического кормового вагона на заданную норму выдачи / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Агроинженерия. – 2020. – № 4(98). – С. 20-25. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-4-20-25.

80. Купреенко, А. И. Современные технологии и технические средства для кормления КРС / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Состояние, проблемы и перспективы развития современной науки : Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции, Брянск, 20–21 мая 2021 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. – С. 155-162.

81. Купреенко, А. И. Экономическая эффективность технологической линии на базе кормового вагона / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 4(40). – С. 113-119.

82. Купреенко, А. И. Эксплуатация автоматического кормовагона на молочной ферме / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Сельский механизатор. – 2018. – № 6. – С. 32-3340.

83. Курбанов, Р. К. Обоснование параметров оборудования для смешивания кормов крупному рогатому скоту: автореф. дис.. канд. техн. наук / Р.К. Курбанов; Азербайджанский НИИ мех-ии и элект. с. х. – Гянджа, 1991. – 20 с.

84. Курдюмов, В.И. Теоретическое обоснование параметров процессов загрузки, хранения и выгрузки комбикормов / В.И. Курдюмов, М.В. Прусов, А.А. Павлушин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. № –1 (49). – С. 6-13

85. Куспаков, А.С. Повышение однородности смеси за счет совершенствования конструктивной схемы смесителя / А.С. Куспаков // Сб.: Межвузовская молодежная конференция «Новые технологии пищевых производств на рубеже XXI века». Вестник ОГУ. – 2011. – № 4. – С. 149 – 151.

86. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики // Лойцянский Л.Г. Лурье А.И.// Изд 2-е переработ. и доп. М.: Наука, 1983 г. 640 с.

87. Лукин Н.Д., Кормовые продукты при переработке крахмалсодержащего сырья на крахмал / Лукин Н.Д., Михайленко А.А.// Сб.: Глубокая переработка зерна для производства крахмала, его модификаций и сахаристых продуктов. Тенденции развития производства и потребления. – Изд-во «НИКПЦ Восход-А» (Москва), 2013. –С. 200-205.
88. Лукин, Н.Д Выход побочных кормовых продуктов при переработке сырья на крахмал / Н.Д. Лукин //Кормопроизводство.– 2010.– № 12. –С. 34-37. 75
89. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 215с.
90. Маланчева, С.Н. Проблемный выбор энергосберегающего смесительного оборудования./ С.Н. Маланчева, В.В. Гунько// Сб. статей 2-ой международной НТК « Проблемы исследования и проектирования машин». Пенза, 2006. – С. 78 – 80.
91. Мальцев, А.К. Классификация основных типов смесительных машин, применяемых в сельскохозяйственном производстве. / А.К. Мальцев // Проектирование рабочих органов машин для животноводческих хозяйств (теория и расчёт). Ростов-на-Дону, 1972, вып. III, с.12-20.
92. Мартынов, В.К. Совершенствование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей в планетарном смесителе периодического действия за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов; дис. на соиск. уч. ст. к.т.н.: 05.20.01. Мартынов В.К. – Саратов. 2005. – 187 с. 64П
93. Марченко, А.Ю. Оптимизация конструктивно-режимных параметров цилиндрических винтовых барабанов для приготовления комбикормов: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.20.01 / А. Ю. Марченко; Кубанский гос. аграрный ун-т. – Краснодар, 2012. – 22 с.
94. Межуева, Д.В. К вопросу об исследовании надежности смесителей./ Д.В. Межуева, В.В. Гунько, С.Н. Маланчева, С.П. Какунин// Вестник ОГУ. – 2006. № 12. – часть 2. – С. 490 – 494.
95. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм: Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.

96. Менх, В. Г. Исследование и разработка спирально-винтовых устройств для переработки пищевых сыпучих материалов: дис... канд. техн. наук / 05.18.04 / Менх В. Г. – Кемерово, 1995. – 202 с. 62Г
97. Методика оценки эффективности технологических линий приготовления и раздачи кормов / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, В. П. Капустин, А. В. Прохоров // Наука в центральной России. – 2018. – № 6(36). – С. 35-42.
98. Механические и гидромеханические процессы / Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, В.Е. Мизонов, и др. под ред. А.М. Кутепова. – М: ЛОГОС, 2001. – 600с.
99. Мизонов, В.Е., Балагуров И.А. Теоретические основы моделирования и расчета формирования многокомпонентных смесей разнородных дисперсных материалов / ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 108 с. ISBN 978-5-00062-154-7
100. Мудров, А.Г. Усовершенствованный смеситель комбикормов // Техника в сельском хозяйстве. 1983. - № 4. - С. 9 - 12.
101. Мусаев, Ф.А. Молочная продуктивность голштинских коров при использовании в рационе кормления глютена кукурузного / Ф.А. Мусаев, О.А. Захарова, Л.М. Захаров. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. –195 с.
102. Научные основы процесса смешивания лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем в технологии производства комбикормов / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, О.Н. Дидманидзе, А.Д. Обухов // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 3. С. 7-16.
103. Нейтрализатор кислотности сгущенного экстракта / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.А. Коньков, Н.В. Счастликова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 2. – С. 15-16.
104. Новобранцев, Ф.К. Экспериментально-теоретическое исследование работы смесителя кормов: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 / Ф. К. Новобранцев. – Саратов, 1956. – 164с.
105. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. – Справочное пособие / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.Н. Баканов и др. М.: Агропромиздат, 1995 – с. 223 - 260.

106. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное. / Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. - Москва. 2003.
107. 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.
108. Обоснование габаритных параметров мобильного кормораздатчика / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров, М. К. Бралиев // Наука в центральной России. – 2020. – № 2(44). – С. 5-15. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-2-5-15.
109. Обоснование конструктивно-технологических параметров смесителя кормов / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, А.А. Полункин, Е.Е.Гришков // Сб.: Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения : мат. междунар. науч.-практ. конф.. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2013. – С. 63-68.
110. Обоснование параметров барабанного дозатора / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, В.В. Утолин, М.В. Паршина, В.А. Паршина // Сб.: Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: мат. междунар. научн.-практ. конф.. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. – С. 202-206.
111. Обоснование параметров выгрузного окна барабанного дозатора / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров, М. К. Бралиев // Наука в центральной России. – 2019. – № 5(41). – С. 16-26. – DOI 10.35887/2305-2538-2019-5-16-26.
112. Обоснование ширины высыпного отверстия шнекового транспортер-распределителя / И. Е. Бычков, А. И. Купреенко, Т. В. Бычкова, Х. М. Исаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 6. – С. 40-44. – DOI 10.31992/0321-4443-2018-6-40-44.
113. Омельченко, А.А. Исследование движения частицы в лопастном смесителе, контактирующей с рабочими органами / А.А. Омельченко, Л.И. Штельмах // Исследование и конструирование машин для животноводства. Киев. – 1973. – С. 11-18.
114. Орешкина, М. В. Экологически чистая технология и средства механизации переработки отходов картофелекрахмального производства на корм скоту: автореф. дис. док тех. наук: 05.20.01/ Орешкина Мария Владимировн. – Рязань, 1996. – 50с.

115. Останин, К.А. Обоснование параметров и режимов работы смесителя с эластичным рабочим органом для приготовления сыпучих кормовых смесей: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.20.01 / К.А. Останин; Азово-Черноморская гос. агроинж. акад. – зерноград: Изд-во Зерног. акад, 2013. – 19 с.

116. Панин, И.Г. Методика оценки однородности комбикормовой продукции. / И.Г. Панин, Ю.М. Колпаков // Аграрная наука. – 2004. – №8. – С. 21-22.

117. Пат. 2042416 Российская Федерация, МПК В 01F 7/30. Смеситель / Прищепа И.И., Инюточкин П.Н., Неплюев Л.В., Герман С.В.– опубл. 27.08.1995.

118. Пат. 92011235/26 Российская Федерация, МПК В 01F 15/04. Дозатор-смеситель / Галиакберов З.К., Насибуллов И.Х.– опубл. 20.12.1995.

119. Пат. на полезную модель RU 184627 U1. Комбикормовый агрегат / Утолин В.В., Липин В.Д., Лузгин Н.Е., Паршина М.В. – Опубл. 01.11.2018; Бюл. 31.

120. Пат. РФ № 2336722. Способ приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмало-паточного производства / Подобуев Г.А., Утолин В.В., Коньков М.А.– Опубл. 27.10.2008; Бюл.№ 30.

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

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

123. Пат. РФ № 2454273 Комбикормовый агрегат /Счастлилова Н.В., Полункин А.А., Ульянов В.М., Утолин В.В., Коньков М.А. – Опубл. 10.11.2011; Бюл. № 31.

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

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

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

127. Пат. РФ №2150213 Способ получения белково-крахмального корма для животных / П. Гилядов, А.П. Богданова, С.А. Трофимов, Н. А. Беляева. – Оpubл. 2000.06.10.

128. Пат. СССР № 1214438 Смеситель / Палий О.И., Хребтов А.В.; - опубл. 28.02.86; Бюл. № 8.

129. Патент № 2644035 С2 Российская Федерация, МПК G01N 19/02. Устройство для определения коэффициента трения кормов : № 2016116111 : заявл. 25.04.2016 : опубл. 07.02.2018 / С. М. Ведищев, А. В. Брусенков, А. В. Прохоров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" ФГБОУ ВО "ТГТУ".

130. Патент № 2701966 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Установка для приготовления и раздачи кормосмесей : № 2018146753 : заявл. 27.07.2018 : опубл. 02.10.2019 / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный аграрный университет".

131. Патент № 2705334 С1 Российская Федерация, МПК А01К 5/00, В01F 7/08. Смеситель для сыпучих кормов : № 2019106970 : заявл. 13.03.2019 : опубл. 06.11.2019 / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. И. Завражнов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО "ТГТУ").

132. Патент № 2756742 С1 РФ, МПК А23N 17/00, В01F 7/00. Смеситель кормов: № 2020122691: заявл. 09.07.2020 : опубл. 05.10.2021 / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".

133. Пахомов, В.И. Способ повышения точности смесеприготовления в производстве комбикормов / В.И Пахомов, С.Г. Карташов, Е.М. Клычев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 3 (35). – С. 25-31.

134. Перспектива развития машин для механизации процессов в животноводстве в условиях Тамбовской области / С. М. Ведищев, И. И. Репин, С. В. Прохоров, А. В. Прохоров // Проблемы и перспективы развития науки и образования : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Кишинев, 11 июня 2019 года. – Кишинев: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2019. – С. 33-37.

135. Плановский , А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / Плановский А.Н., В.М. Рамм, С.З. Каган.– М., 1967. – 234 с.

136. Пошевкин, О.Б. Оценка равномерности распределения ингредиентов в кормосмесях / О.Б. Пошевкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. №3. – С.25 -28.

137. Практикум по кормлению сельскохозяйственных животных: [Для вет. и зооинж. фак. с.-х. ВУЗов / Е.А. Петухова, В.С. Крылова, Н.Т. Емелина, И.М. Мариянов]. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1977. - 303 с.

138. Преображенский, П.А. Сравнительная оценка методов расчета производительности односпирального гибкого шнека. / П.А. Преображенский, А.М. Григорьев // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1970. – № 3. – С. 18-20.

139. Процессы и аппараты химической технологии: Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по химтехнол. Направлениям и специальностям (в 5 т.) / Под ред. Кутепова А.М. М.: Логос, 2001, т.2, 599 с.

140. Процессы смешивания кормов в лопастном смесителе непрерывного действия / Р.М. Якубов, Д.Н. Сляднев, А.А. Спирочкин, С.С. Авдеев // Сб.: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: мат. XIII междунар. науч.-практ. конф. – 2017". – Ставрополь, 2017. – С. 85-88.

141. Раскатова Е.А. Исследование процесса образования сыпучих смесей в кормоприготовлении и его механизация / Е.А. Раскатова // Автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд.техн. наук: – Москва 1956. – 15с.

142. Раскатова, Е.С. Факторы, определяющие смешивание материалов / Е.С. Раскатова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1977. –№ 8, – С. 16-20.

143. Результаты экспериментальных исследований по проращиванию семян сои на витаминный корм / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов, М.С. Широков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы: Майский, 2020. - №4. - С. 25-34.

144. Ретроспективный анализ и перспективы развития машинных технологий производства комбикормов / В.И. Сыроватка //Сб.: Механизация и автоматизация процессов в животноводстве. – М., 2019. – С. 35-81.

145. Романенко В.Н. Комплексное использование сырья в крахмало-паточном производстве / В.Н. Романенко, И.Ф. Филиппова – М.: Агропромиздат, 1985. – 176 с.

146. Саенко, Ю. В. Расчет конструктивно-режимных параметров конвейера для проращивания зерна на корм животным / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 2(27). – С. 380-385.

147. Саенко, Ю. В. Обоснование сушилки пророщенного зерна / Ю. В. Саенко, Р. З. Байрамов // Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке: Материалы Национальной научно-практической конференции, Майский, 16 декабря 2020 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. – С. 159-160.

148. Саенко, Ю. В. Смеситель-раздатчик кормов для свиноводческих ферм / Ю. В. Саенко, А. В. Артеменко // Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке: Материалы Национальной научно-практической конференции, Майский, 16 декабря 2020 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. – С. 156-158.

149. Саенко, Ю.В. Сушилка пророщенного зерна / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, А.Ф. Окунев // Техника и технологии в животноводстве. - 2021. - №1. - С. 71-75.

150. Сайт компании «Курский завод грануляторов» [Электронный ресурс]. – Курск: – URL: <https://грануляторы-курск.рф> (дата обращения 25.12.19).

151. Сайт компании ЗАО «Биокомплекс» [Электронный ресурс]. – М.: – URL: <http://www.biokompleks.ru> (дата обращения 19.12.2019).

152. Сайт компании ООО «Ардон» [Электронный ресурс]. – М.: – URL: <http://www.ardon-m.ru>(дата обращения 10.02.2020).

153. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019618246 Российская Федерация. Расчет показателей шнеколопастного смесителя : № 2019616897 : заявл. 05.06.2019 : опубл. 27.06.2019 / Н. В. Хольшев, С. М. Ведищев, А. В. Прохоров ; заявитель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

154. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666396 Российская Федерация. Расчёт конструктивных параметров теплообменника: № 2021665499: заявл. 04.10.2021: опубл. 13.10.2021 / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко, Е. А. Мартынов [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина».

155. Селезнев, А.Д. Сравнительные испытания смесителей периодического действия/ А.Д. Селезнев, В.Н. Савиных //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1991. №11,-С.59-60.

156. Сергеев, С. В. Кукурузная мезга - отличный корм / Сергеев С. В. // Животноводство России. 2008. – № 10. – С. 65-66.

157. Смеситель / 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.

158. Смеситель для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Сергеев, А.Н. Топильский // Сб.: Современные энерго–ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. – Рязань: Издат-во ФГБОУ ВО РГАТУ, 2014. – С. 145-147.

159. Смеситель для приготовления сухих кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Сергеев, А.Н. Топильский // Сб.: Образование, наука, практика: инновационный аспект.– Пенза: Издат-во Пензенской ГСХА, 2015. – С. 119-121.

160. Способ выделения белковой массы из кукурузного экстракта / Утолин В.В., Коньков М.А., Счастликова Н.В., Полункин А.А. //

Сб.: Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК. – РГАТУ., 2011. – С. 19-21.

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

162. Справочник зоотехника / Г. Н. Доброхотов, А. А. Косынкин, В. К. Онисовец и др.; Сост. Г. Н. Доброхотов // - 4-е изд., перераб. - М. : Колос, 1980. - 768 с

163. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк перевод с польского под редакцией к.т.н. А. Щупляка. – Издательство "ХИМИЯ" Ленинградское отделение, 1975.– 384с.

164. Сыроватка В.И. Модульная установка для производства лечебных комбикормов и премиксов в хозяйствах / В.М. Сыроватка, О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, А.Д. Обухов, Н.В. Жданов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, – 2021. –Т.16 № 1(61). – С 96–103.

165. Сыроватка, В.И. Исследование кинетики движения ингредиентов лечебных кормов в шаровом смесителе / В.М. Сыроватка, Н.В. Жданов, А.Д. Обухов //Российская сельскохозяйственная наука. – М., 2021. – №2 – С. 59–63.

166. Сыроватка, В.И. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Д. Обухов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1 (37). – С. 24-31.

167. Технология и оборудование для получения и подготовки пророщенного зерна на корм животным / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко, К. В. Казаков [и др.]. – Москва; Белгород : Колос, 2021. – 204 с. – ISBN 978-5-00129-243-2.

168. Технология получения комбикормов в хозяйствах / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.С. Ткачев и др. // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера: матер. всерос. науч.-прак. конф. – Мичуринск, 2020. – С. 144-149.

169. Технология приготовления сырого корма из отходов крахмалопаточного производства / Г.А . Подобуев, В.В. Утолин, В.М. Ульянов, М.А. Коньков //

Сб.: Энергосберегающие технологии использования и ремонта машинно-тракторного парка. – РГАТУ., 2004. –С. 125-127.

170. Ульянов, В. М. Технология и обезвоживатель картофельной мезги на корм скоту: автореф. кан. тех. наук. 05.20.01/ Ульянов Вячеслав Михайлович. – Рязань, 1990. – 19с.

171. Ульянов, В.М. Агрегат для приготовления кормов / В.М. Ульянов, М.В. Паршина, В.А. Паршина // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: матер. нац. науч.-практ. конф. – Рязань., 2019. – С. 464-470.

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

173. Утолин В.В. Особенности получения прессованных кормов из побочных продуктов пивоваренного производства / О. Ю Балашов, В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2018. № 1 (22). –С. 50-54.

174. Утолин, В.В. Исследование смесителя со спиральным рабочим органом / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.В. Паршина // Сб.: Материалы всероссийской национальной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО РГАТУ. – 2020. – С. 218-223.

175. 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.

176. Утолин, В.В. Агрегат для приготовления кормов из вторичных продуктов крахмалопаточного производства / Утолин В.В., Полункин А.А. // Сб.: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: матер. междунар. науч.-практ. конф.– ФГБОУ ВО РГАТУ , 2012. – С. 249-251.

177. Утолин, В.В. Агрегат для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В. Утолин // Сб.: Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева: мат. науч.- практ. конф. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2012. – С. 115-118.

178. Утолин, В.В. Анализ конструкций смесителей / В. В. Утолин, Е. Е. Гришков, Н.Е. Лузгин и др. //Сб.: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса: мат. нац. науч.-практ. конф.. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. – С. 187 –194.

179. Утолин, В.В. Использование кукурузной мезги и сгущенного экстракта в рационах кормления сельскохозяйственных животных / В.В. Утолин, А.А. Полункин, С.А. Киселев // Сб.: Сборник научных трудов студентов магистратуры Министерство сельского хозяйства РФ. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2013. – С. 51-53.

180. Утолин, В.В. Классификация дозаторов кормов / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков // Сб.: Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2012. – С. 100 -103.

181. Утолин, В.В. Критерий качества разделения дисперсных систем / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Счастлилова Н.В. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2011.– № 5. – С. 29 -31.

182. Утолин, В.В. Лабораторный макет дозирующего устройства смесителя кормов / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселев // Сб.: Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения Сборник научных трудов. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2013. – С. 109-111.

183. Утолин, В.В. Ленточная центрифуга / В.В. Утолин, Н.В. Счастлилова, Е.А. Шлепцов // Сб.: Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева: мат. науч.-практ. конф. – ФГБОУ ВО РГАТУ 2011. С. 192-193.

184. Утолин, В.В. Линия приготовления кукурузного корма / Е.Е. Гришков, В.В. Утолин // Сб.: Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона: мат. 66-й междунард. науч.-практ. конф.– ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – С. 102-105.

185. Утолин, В.В. Машина для снижения кислотности сгущенного кукурузного экстракта / Утолин В.В., Коньков М.А. // Сб.: Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2011. – С. 86-88.

186. 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: мат. 71-й междунар. науч.-практ. конф. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020. – С. 134-138.

187. Утолин, В.В. Определения теплофизических свойств сырого корма / В.В. Утолин, А.А. Полункин, Н.В. Счастлилова // Сб.: Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава и молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева: мат. науч.-практ. конф., – ФГБОУ ВО РГАТУ 2009, – С. 160-164.

188. 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. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. № 3 (35). С. 114-118.

189. 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: мат. нац. науч.-практ. конф. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. – С. 475-480.

190. Утолин, В.В. Показатели эффективности механических обезвоживателей / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, Н.В. Счастлилова // Сб.: Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2011. – С. 105-109.

191. Утолин, В.В. Производственные испытания разработанного смесителя / В.В. Утолин, А.А. Полункин, Е.Е. Гришков // Сб.: Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2014. – С. 147-149.

192. Утолин, В.В. Результаты выполненных исследований по выделению белковой массы из кукурузного экстракта / Утолин В.В. // Сб.: Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве: мат. междунар. науч.-практ. конф.– ФГБОУ ВО РГАТУ, 2011. – С. 118-120.

193. Утолин, В.В. Результаты испытания спирального смесителя / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, Р.А. Воронков // Сб.: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: мат. XIX междунар. науч.-производ. конф.. ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – Белгородского ГАУ, 2015. – С. 82-83.

194. 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.

195. Утолин, В.В. Смеситель для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В.Утолин, А.А. Полункин, А.Н. Полункина, Ю.П. Назаров // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. № 1. – С. 215-220.

196. Утолин, В.В. Смеситель для приготовления сырых кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства / В.В. Утолин, А.А. Полункин // Сб.: Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2012. – С. 301-304.

197. Утолин, В.В. Смеситель кормов / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, М.В. Паршина // Сб.: Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса материалы 69-ой Международной научно-практической конференции. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2018. – С. 348-352.

198. Утолин, В.В. Смеситель-дозатор для приготовления кормов сельскохозяйственным животным /В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Киселев //Сб.: Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития: международ. науч.-практ. конф.. – ФГБОУ ВО РГАТУ. 2013. – С. 64-66.

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

200. Утолин, В.В. Теоретическое обоснование процесса нагревания стуженного кукурузного экстракта в нейтрализаторе Утолин В.В. Сб.: Инновационные

технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве: мат. междунаrod. науч.-практ. конф.. –ФГБОУ ВО РГАТУ 2011. – С. 165-168.

201. Утолин, В.В. Технология и смеситель для приготовления сухого кукурузного корма / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, С.И. Сергеев // Сб.: Исследования молодых ученых – аграрному производству Материалы онлайн-конф., посвященной Дню российской науки. Ассоциация аграрных вузов ЦФО. – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – С. 124-126.

202. Утолин, В.В. Физико-механические свойства сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства /Утолин В.В., Полункин А.А., Гришков Е.Е. //Сб.: Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК. ФГБОУ ВО РГАТУ. 2012. – С. 103-106.

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

204. Физико-механические и реологические свойства сырого кукурузного корма / В.В. Утолин, М.А. Коньков, А.А. Полушкин, Н.В. Счастлилова // Сб.: Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава и аспирантов инженерно-экономического института Рязань, 2009. – С. 119-125.

205. Филатов, С. К. совершенствование процессов смешивания и раздачи кормосмесей крупному рогатому скоту горизонтально-шнековым раздатчиком смесителем: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.20.01 / С. К. Филатов. – зерноград, 1988. – 16с.

206. Финкельштейн, А.Ш. Исследования рабочего процесса смесителя с планетарно-шнековым механизмом: дис. канд. техн. наук / А.Ш. Финкельштейн. – Каунас, 1970.

207. Фомин, А.С. Производительность винтового смесителя-конвейера [Электронный ресурс] / А.С. Фомин SWorld. – 18-29 June 2013. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/june-2013>.

208. Фролов, Д.В. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров измельчителя-смесителя для приготовления комбикормов: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.20.01 / Д.В. Фролов; Оренбургский гос. аграрный ун-т. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2011. – 20 с.
209. Хлыстунов, В.Х. Определение межшнекового просвета в машинах для смешивания и раздачи кормов / В.Ф. Хлыстунов // Техника в сельском хозяйстве. – 2000.– № 2. –С. 17-21.
210. Холланд, Ф. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов / Ф. Холланд, Ф. Чапман.– М., Изд – во «Химия», 1974. – 208с.
211. Шнеково-лопастной смеситель для приготовления кормов / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, А.А. Полункин, Е.Е. Гришков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 6. – С. 11-12.
212. Штельмах, Л. И. Исследование процесса смешивания кормов в лопастных смесителях периодического действия : диссертация ... кандидата технических наук: 05.06.01. / Л. И Штельмах. – Киев, 1973. – 231 с.
213. Щупов Л.П. Математические модели усреднения / Л.П. Щупов - М.: Недра, 1978. – 287 с.
214. Экспериментальные исследования затрат мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев и др. // Современная наука: теория, методология, практика: мат. 2-ой всерос. (нац.) науч.-прак. конф. –Тамбов, 2020. – С. 245-248.
215. Энергосберегающая технология сгущения кукурузного экстракта / 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.
216. Эффективность использования подсгущенного кукурузного экстракта в рационах крупного рогатого скота / П.И. Афанасьев, Ю.В. Калинин, Н.Н. Селезнева и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. –2011.– № 5. С. – 61-62.
217. Янке Е. Специальные функции / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш – М.: Наука, 1977. – 205с.

218. Aiba, S. Flow patterns of liquids in agitated vessels / S. Aiba // *AIChE Journal*. –1958. –V.4, –№ 4, – P. 485-491.
219. Anchal, J Effect of particle size distribution on segregation in vibrated systems / J. Anchal, J. M. Matthew, J. G. Benjamin // *Powder Technology*. – 2013. – N237. – P. 543-553.
220. Barney Harris, Jr. / Professor, Dairy Science Department, Cooperative Extension Service / Vitamins, Minerals and Dairy Cow Fertility/ Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville.,– 2003.
221. Beef Cattle Feeding and Nutrition, Second Edition (Animal Feeding and Nutrition), Tilden Wayne Petty (Editor), Michael J. Cecava (Editor), Publication Date: August 15, – 1995.
222. Behnke, K.C. Presentation. Effect of Particle Size on Mixing Efficiency. / K.C. Behnke, // *Iowa Pork Congress*. – 2005.
223. Coulson, J. Chemical ReactorsJ. Fundamentals of Chemical Reaction EngineeringBy Walter Brötz / J. Coulson, Translated from the German by David A. Diener and John A. Weaver. (Addison-Wesley Series in Chemical Engineering.).– (Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1965.) –113s.
224. Determination of the parameters of the hydrodynamic mixer / Ivanov Yu.A., Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Rudoi D.V. // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – C. 05023.
225. Funami, T. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behaviour of wheat starch / T. Funami, Y. Kataoka, T. Omoto, Y. Goto, I. Asai, K. Nishinari // *Food Hydrocolloids*, 2005, no 19: pp.1–13.
226. Hussain, I. Evaluation of low quality roughages and agricultural by-products as livestock feed. Dis.. Ph.D / I. Hussain, // *Oregon State University*.– 1993.
227. Kramers, H. A comparative study on the rate of mixing in stirred tanks / H. Kramers, G. M. Baars, W. H. Knoll // *Chem. Eng. Sci*. – 1953. – V2, – №1. – P. 32-42.
228. 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.

229. Modeling of mobile TMR mixer operation / A. I. Kupreenko, K. M. Isaev, S. M. Mikhailichenko [et al.] // INMATEH - Agricultural Engineering. – 2020. – Vol. 61. – No 2. – P. 193-198. – DOI 10.35633/inmateh-61-21.

230. Nagata, S. Flow patters of liquid in a cylindrical mixing vessel without bafflers 11 Mem / S. Nagata, K. Yamamoto, M. Ujihara // Fac. Eng. Kyoto Univ. – 1958. – V.20, – Pt.4.

231. 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.

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

233. Traylor, S. L. Mix time affects diet uniformity and growth performance of nursery and finishing pigs / S. L. Traylor, , J. D. Hancock, K. C. Behnke, C. R. Stark, R. H. Hines // Kansas State.– Univ. Swine Day. – 1994, – P171 -175.

234. Valentin, F.N. Mixing of powderis and particulate solids / F.N. Valentin // Chem and procest Enging. –1975 – Vol. 46. №4. – P111.

235. Vedishchev, S. M. The model of dose formation in the drum batcher with the moving blades within the cells / S. M. Vedishchev, H. J. Alshinayyin, A. V. Prokhorov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 1, Al-Qadisiyah, 31 мая – 01 2020 года. – Al-Qadisiyah, 2020. – P. 012041. – DOI 10.1088/1755-1315/553/1/012041.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Таблица А.1 – Состав картофельного сока (в пересчете на сухое вещество), %

Наименование	Крахмал	Растворимые углеводы	Минеральные вещества	Сырой протеин	Прочие вещества
Картофельный сок	10,0	20,0	14,5	38,5	17,0

Таблица А.2 – Состав картофельной мезги (в пересчете на сухое вещество), %

Наименование	Крахмал	Клетчатка	Растворимые углеводы	Минеральные вещества	Сырой протеин	Прочие вещества
Картофельная мезга	50,0	25,0	2,5	6,2	6,0	10,3

Таблица А.3–Состав ОКМ.

Наименование	Крахмал, %	Белок, %	Жир, %	Зола, %	Клетчатка, %	Растворимые углеводы, %	Прочие вещества, %
ОКМ крупная	8-12	6-9	4-7	0,5-1	40-55	3-5	3-6
ОКМ мелкая	25-46	11-18	2-4	0,8-1,5	15-25	4-7	2-5

Таблица А.4– Состав СКЭ.

Наименование	Крахмал, %	Белок, %	Жир, %	Зола, %	Органические кислоты, %	Углеводы, %	Прочие, %
СКЭ	0,3...0,8	35,0...50,0	8,0...10,0	1,0...3,0	27,0...33,0	2,0...3,0	1,2...26,7

Таблица А.5 - Состав ВКК

Показатели	Значения
Массовая доля влаги, %	66,7 ± 0,4
Показатель рН	4,2...4,4
Содержание: (в пересчете на абсолютно сухое вещество), %	
сырого протеина	20,49 ± 0,59
сырого жира	5,21 ± 0,62
сырой клетчатки	9,6 ± 1,1
кальция	0,72 ± 0,09
фосфора	0,68 ± 0,11
калия	0,90 ± 0,14
натрия	0,32 ± 0,05
сахара	1,2 ± 0,6
крахмала	1,6 ± 0,7
Растворимость сухого протеина, %	45,4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

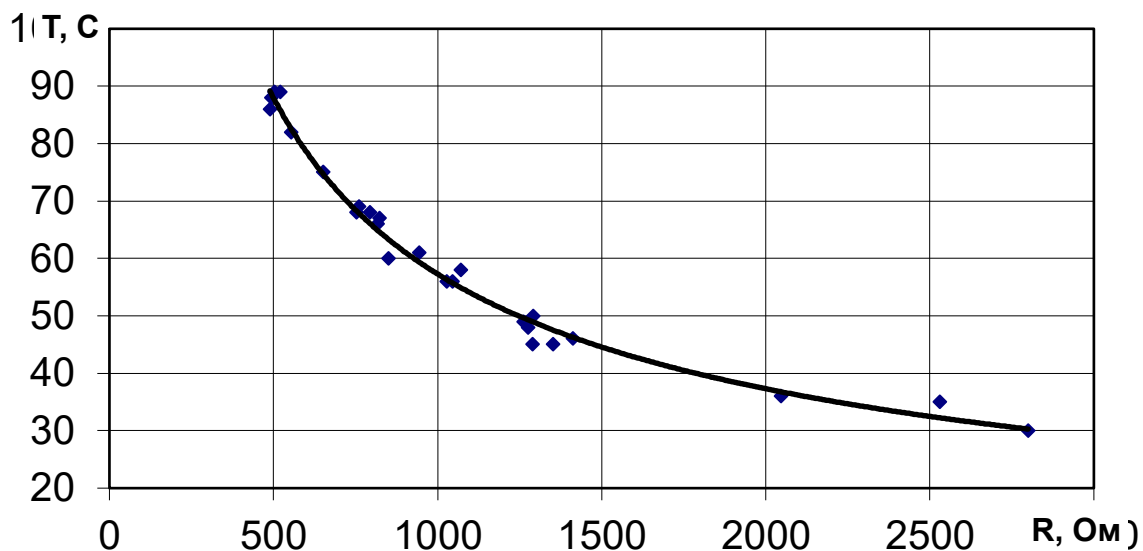


Рисунок Б1 – Графическое отображение зависимости электрического сопротивления датчика ДТ-1 от температуры.

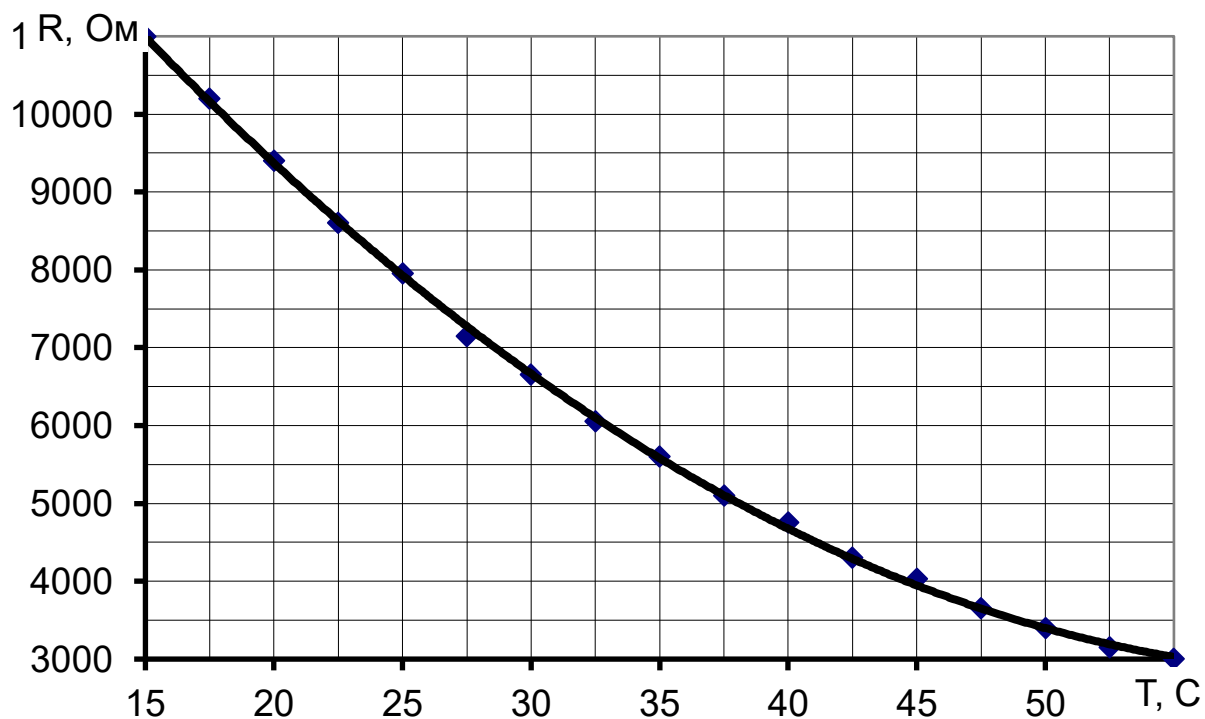


Рисунок Б2 – Графическое отображение зависимости электрического сопротивления датчика ДТ-2 от температуры.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Таблица В.1 – Результаты исследований влияния влажности на угол естественного откоса и объёмную массу ВКК

Влажность ВКК, (W),%	40	50	60	70	80
Угол естественного откоса (а), град	44	45	48	49	49
	43	46	47	49	49
	42	46	47	50	49
	41	47	48	48	48
	40	46	49	50	48
Объёмная масса (γ), кг/м³	234	288	408	564	790
	230	285	411	560	795
	232	286	413	562	799
	235	288	411	566	799
	236	289	412	567	796

Таблица В. 2 – Результаты исследований влияния влажности на объемную массу ППКПП.

Влажность материала, (W),%		5	10	15	20	25	
Объемная масса ППКПП (γ), кг/м ³	Дробленое зерно	X	577	572	565	562	566
			577	573	565	562	567
			579	571	565	563	567
			579	573	566	563	568
			578	576	569	560	567
		\bar{X}	578	573	566	562	567
		S_x	1	1,87	1,73	1,22	0,7
	$V, \%$	0,17	0,33	0,30	0,27	0,16	
	ΔX	1,25	2,24	2,17	1,53	0,88	
	Кукурузный жмых	X	536	502	473	451	412
			536	500	470	452	414
			537	502	471	451	414
			537	500	471	450	416
			534	501	470	446	419
		\bar{X}	536	501	471	450	415
		S_x	1,22	1,00	1,22	2,35	2,60
	$V, \%$	0,23	0,20	0,26	0,52	0,63	
ΔX	1,53	1,25	1,53	2,93	3,25		

Таблица В.3 – Результаты исследований влияния влажности на угол естественного откоса (φ), ° ППКПП.

		Влажность материала, (W),%		5	10	15	20	25
Угол естественного откоса ППКПП, (φ), °	Дробленое зерно	X		36	39	41	45	43
				37	39	42	45	42
				36	40	41	45	43
				37	40	42	45	43
				37	40	41	45	44
		\bar{X}	36,6	39,6	41,4	45	43	
		S_x	0,55	0,55	0,55	0	0,007	
	$V, \%$	1,5	1,3	1,3	0	0,02		
	ΔX	0,68	0,68	0,68	0	0,009		
	Кукурузный жмых	X		38	41	44	42	41
				38	41	44	43	42
				38	41	43	43	41
				38	41	44	43	41
				38	42	44	42	41
		\bar{X}	38	41,2	43,8	42,6	41,2	
S_x	0	0,45	0,45	0,55	0,45			
$V, \%$	0	1,1	1	1,3	1,1			
ΔX	0	0,56	0,56	0,68	0,56			

Таблица В.4 – Результаты исследований влияния влажности ВКК на статистический коэффициент трения по стали.

Влажность ВКК, (W),%		5	15	25	35	40	50	60	70	80
Статический коэффициент трения ВКК, (f_c)	по стали 45 ГОСТ 1050–88	0,39	0,44	0,52	0,62	0,70	0,85	1,00	1,15	1,20
		0,39	0,43	0,52	0,63	0,72	0,87	0,99	1,13	1,22
		0,38	0,45	0,52	0,61	0,70	0,86	0,98	1,14	1,21
		0,39	0,44	0,52	0,62	0,68	0,84	1,02	1,16	1,19
		0,4	0,44	0,52	0,62	0,69	0,83	1,00	1,17	1,19
	по стали 08Х13 ГОСТ5632–72	0,21	0,31	0,49	0,63	0,74	0,81	0,92	0,98	1,00
		0,22	0,31	0,48	0,63	0,72	0,79	0,90	0,97	0,98
		0,23	0,31	0,49	0,63	0,74	0,79	0,92	0,97	1,00
		0,21	0,31	0,49	0,64	0,74	0,82	0,93	0,98	1,02
		0,21	0,31	0,5	0,62	0,76	0,81	0,91	0,99	1,00

Таблица В.5 – Результаты исследований влияния влажности ВКК на динамический коэффициент трения.

Влажность ВКК, (W),%		5	15	25	35	40	50	60	70	80
Динамический коэффициент трения, ВКК, (f_c)	по стали 45 ГОСТ 1050–88	0,33	0,42	0,48	0,58	0,54	0,57	0,71	0,76	0,78
		0,33	0,41	0,49	0,56	0,52	0,55	0,69	0,76	0,77
		0,33	0,4	0,49	0,58	0,53	0,57	0,70	0,75	0,77
		0,33	0,41	0,49	0,56	0,55	0,58	0,73	0,77	0,79
		0,33	0,41	0,5	0,55	0,54	0,57	0,72	0,76	0,78
	по стали 08Х13 ГОСТ5632–72	0,27	0,36	0,47	0,59	0,66	0,72	0,80	0,85	0,87
		0,27	0,37	0,47	0,58	0,64	0,70	0,79	0,84	0,88
		0,26	0,36	0,47	0,58	0,66	0,71	0,80	0,85	0,88
		0,28	0,35	0,47	0,57	0,66	0,73	0,80	0,86	0,87
		0,27	0,36	0,47	0,58	0,68	0,74	0,81	0,85	0,85

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Результаты исследования влияния влажности на теплофизические свойств ВКК.

Влажность ВКК (W), %	20	30	40	50	60	70	80	90
Теплоемкость (с), Дж/(кг·К)	2145 2139 2137 2139 2140	2297 2299 2301 2302 2298	2649 2653 2648 2652 2651	2895 2899 2896 2898 2897	3163 3158 3161 3162 3160	3523 3524 3519 3520 3522	3895 3894 3891 3890 3893	4013 4009 4012 4011 4010
Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)	0,253 0,251 0,249 0,252 0,250	0,274 0,275 0,277 0,278 0,276	0,337 0,335 0,331 0,329 0,334	0,385 0,386 0,384 0,391 0,388	0,431 0,432 0,429 0,432 0,43	0,493 0,494 0,488 0,489 0,491	0,547 0,548 0,541 0,542 0,545	0,571 0,576 0,569 0,574 0,573
Коэффициент температуропроводности ($\alpha \times 10^{-6}$), м ² /с	0,162 0,160 0,162 0,161 0,162	0,261 0,259 0,260 0,261 0,262	0,419 0,424 0,422 0,418 0,421	0,604 0,603 0,598 0,601 0,602	0,809 0,813 0,812 0,808 0,811	0,974 0,969 0,973 0,971 0,972	1,189 1,195 1,192 1,189 1,191	1,302 1,304 1,299 1,298 1,301

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Таблица Д.1 – Результаты исследований влияния толщины стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора на время и температуру нагревания СКЭ.

Время нагревания СКЭ, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
При толщине стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора $\delta=1,0$ мм														
Температура нагревания СКЭ, $T_{ср}$, °С	30,0	33,4	36,7	39,6	41,5	42,9	43,7	44,2	44,3	44,3	43,3	43,3	44,1	43,9
При толщине стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора $\delta=1,5$ мм														
Температура нагревания СКЭ, $T_{ср}$,	30,3	32,9	35,9	38,6	40,6	42,0	43,0	43,4	43,6	43,6	43,6	43,6	43,6	43,1
При толщине стенки внутреннего цилиндра нейтрализатора а $\delta=2,0$ мм														
Температура нагревания СКЭ, $T_{ср}$,	30,0	32,5	35,2	37,7	39,7	41,2	42,2	42,7	43,0	43,1	43,1	43,1	43,1	43,0

Таблица Д.2 – Результаты исследований влияния подачи насоса нейтрализатора на время и температуру нагревания СКЭ.

Время нагревания СКЭ, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$														
Тепература нагревания СКЭ, $T_{\text{ср}}$, °С	30,0	34,0	37,5	40,1	42,5	43,9	44,4	44,6	44,6	44,6	44,4	44,1	43,5	42,6
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$														
Тепература нагревания СКЭ, $T_{\text{ср}}$,	30,3	34,4	37,9	40,4	42,3	43,5	43,9	44,0	44,0	44,0	43,9	43,5	43,5	42,6
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$														
Тепература нагревания СКЭ, $T_{\text{ср}}$,	30,0	34,8	38,2	40,2	41,8	42,7	43,2	43,4	43,4	43,5	43,2	42,9	42,3	41,3

Таблица Д. 3 – Результаты исследования влияния подачи насоса на изменение кислотности (рН) СКЭ и времени нейтрализации

Время нейтрализа ции СКЭ, мин	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>рН СКЭ</i>	3,90	3,90	3,93	3,94	4,04	4,26	4,68	4,78	4,82	5,05	5,98	6,20	6,24
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>рН СКЭ</i>	3,9	3,90	4,01	4,09	4,22	4,59	5,02	5,06	5,22	5,98	6,27	6,27	6,26
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>рН СКЭ</i>	3,9	4,04	4,11	4,23	4,52	5,07	5,24	5,37	5,89	6,22	6,27	6,27	6,27

Таблица Д.4 – Результаты исследования влияния подачи насоса на изменения температуры и времени нейтрализации СКЭ.

Время нейтрализа ции СКЭ, мин	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>Температур а нагревания СКЭ, Т, °С</i>	44,0	44,0	44,2	44,1	44,5	44,9	45,3	46,6	46,7	47,7	47,7	47,7	47,7
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>Температур а нагревания СКЭ, Т, °С</i>	44,0	44,0	44,2	44,2	44,7	45,2	45,8	46,0	46,2	46,2	46,2	46,2	46,2
При подачи насоса нейтрализатора СКЭ $Q=10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$													
<i>Температур а нагревания СКЭ, Т, °С</i>	44,0	44,2	44,4	44,9	45,4	45,4	45,5	45,6	46,6	46,4	46,5	45,2	45,2

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

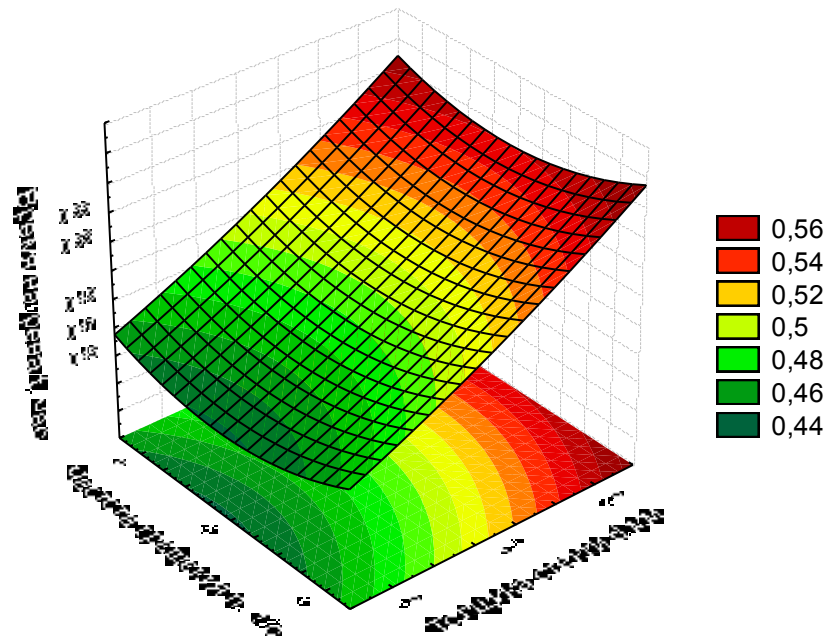


Рисунок Г.1 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на времена нагрева при $Q = 10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

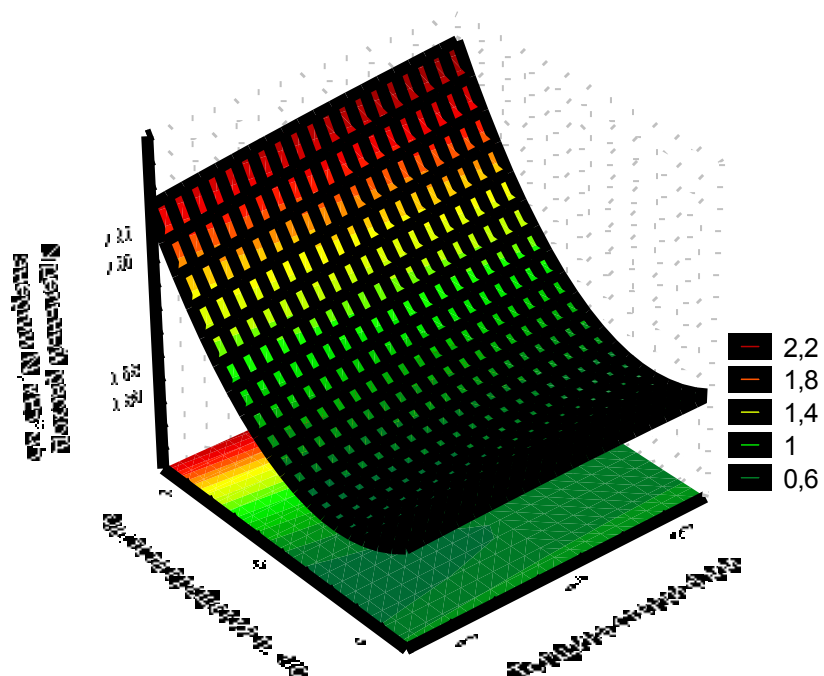


Рисунок Г.2 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии при $Q = 10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

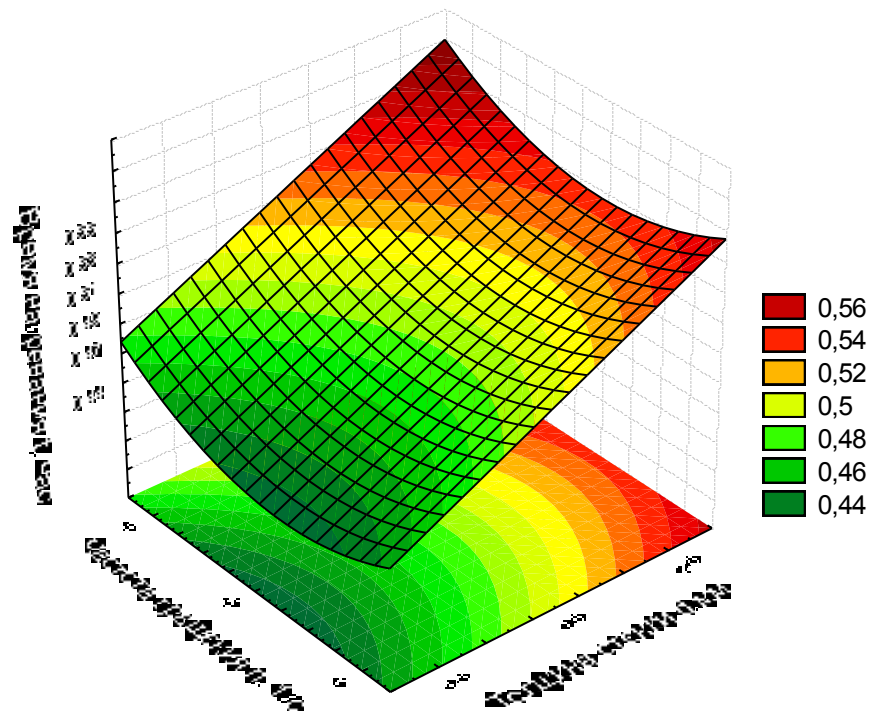


Рисунок Г.3 - Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на время нагрева при $Q = 8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

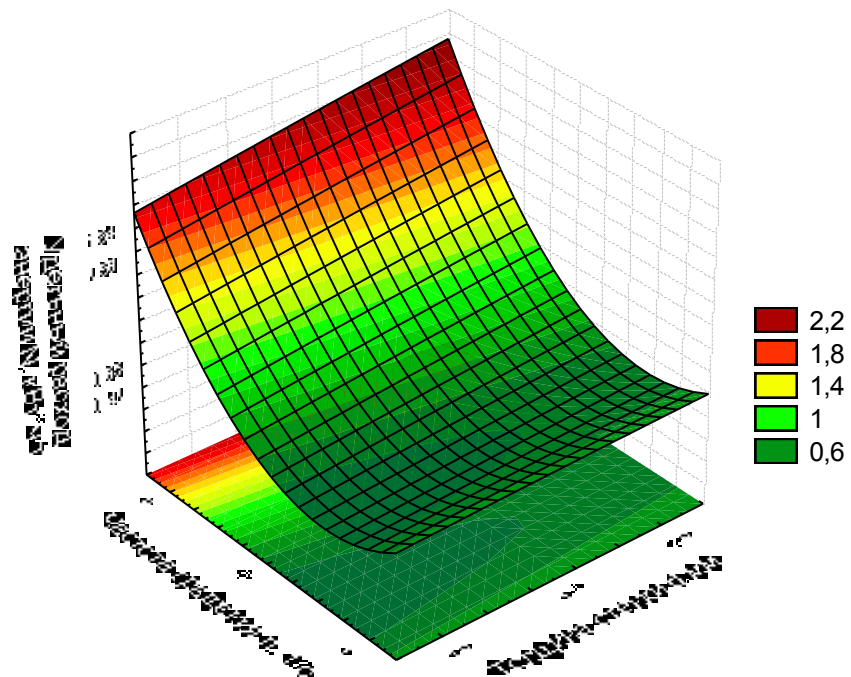


Рисунок Г.4 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии при $Q = 8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

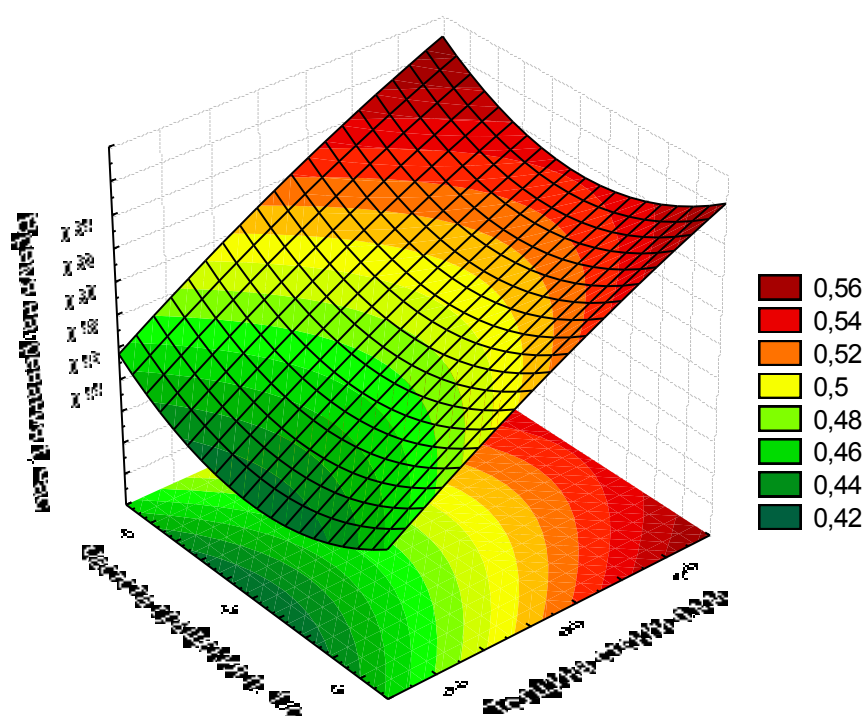


Рисунок Г.5 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на времена нагрева при $Q = 6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

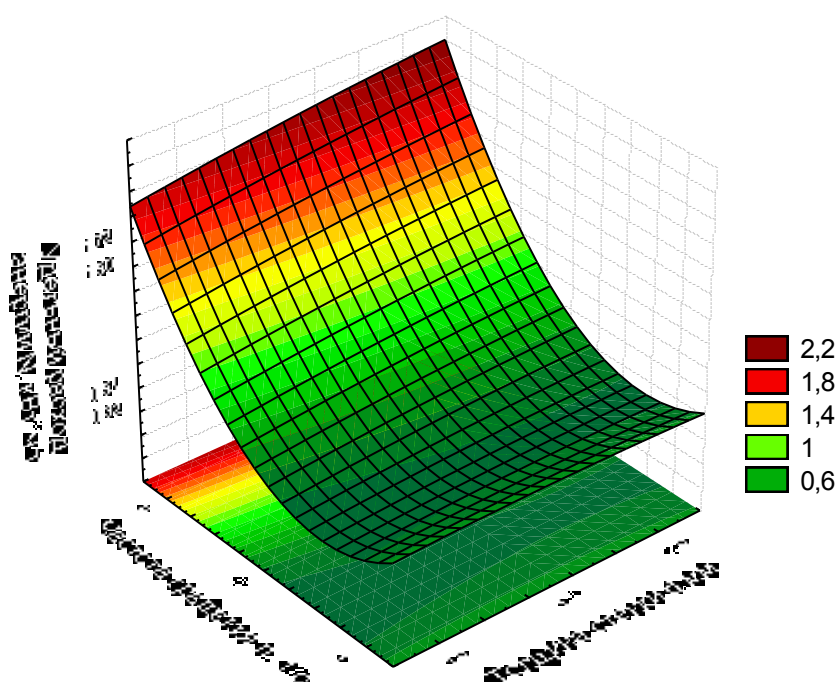


Рисунок Г.6 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии при $Q = 6,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

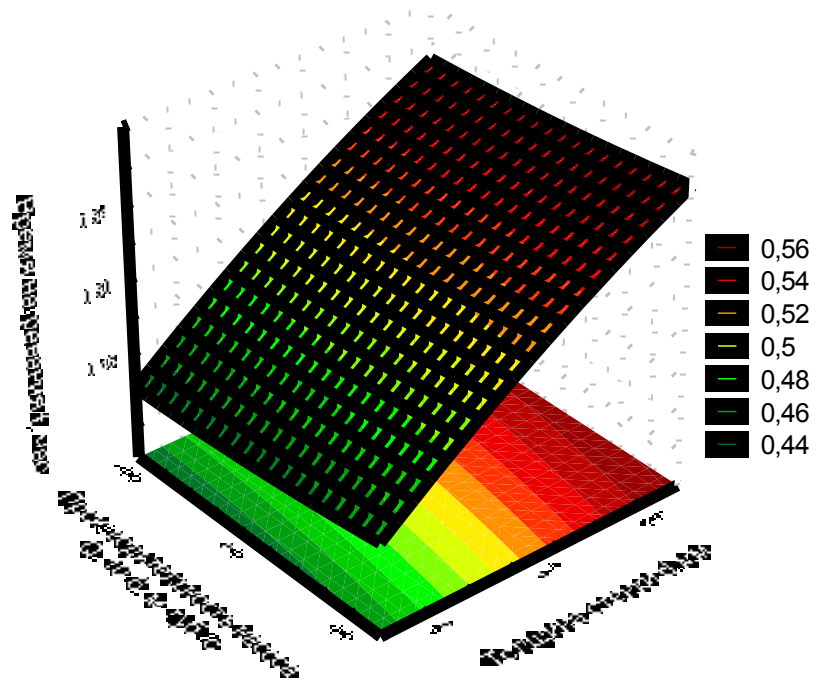


Рисунок Г.7 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на время нагрева СКЭ, при $n = 9\text{с}^{-1}$.

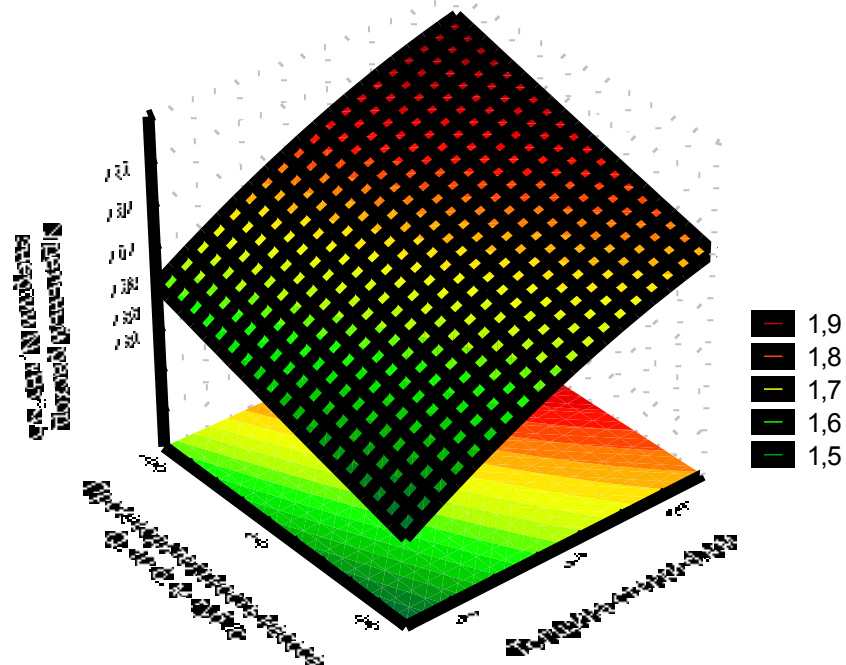


Рисунок Г.8 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на удельные затраты энергии, при $n = 9\text{с}^{-1}$.

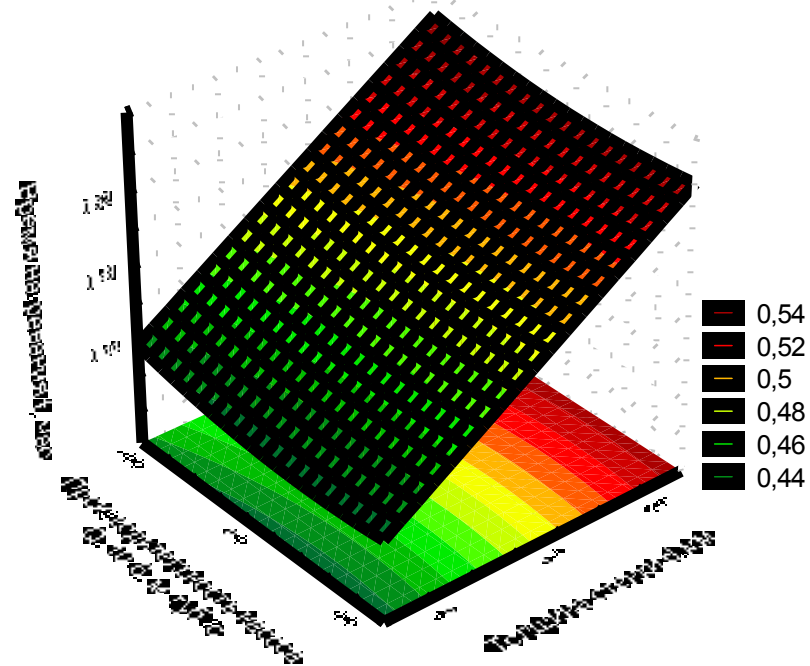


Рисунок Г.9 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на время нагрева СКЭ, при $n = 5\text{с}^{-1}$

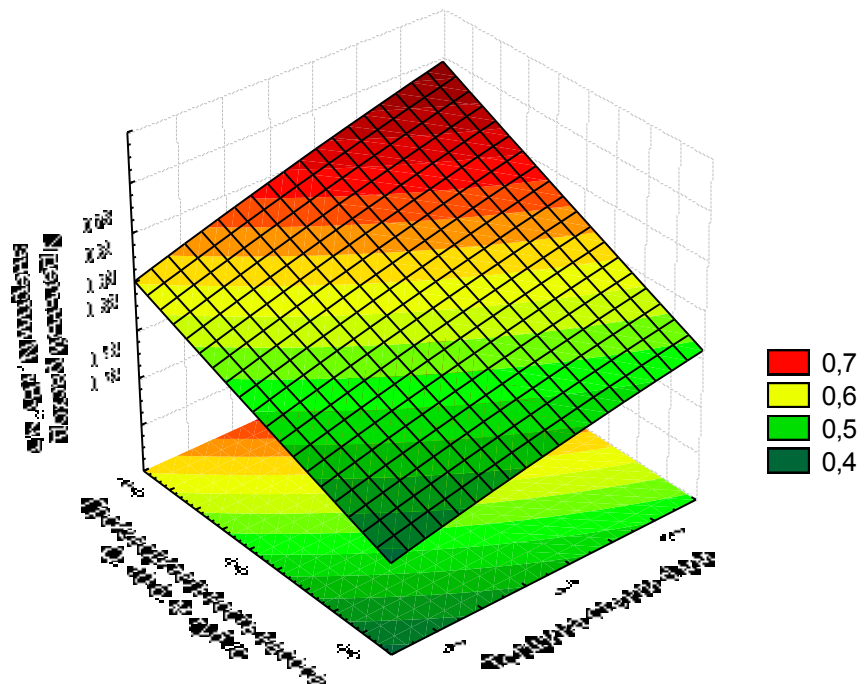
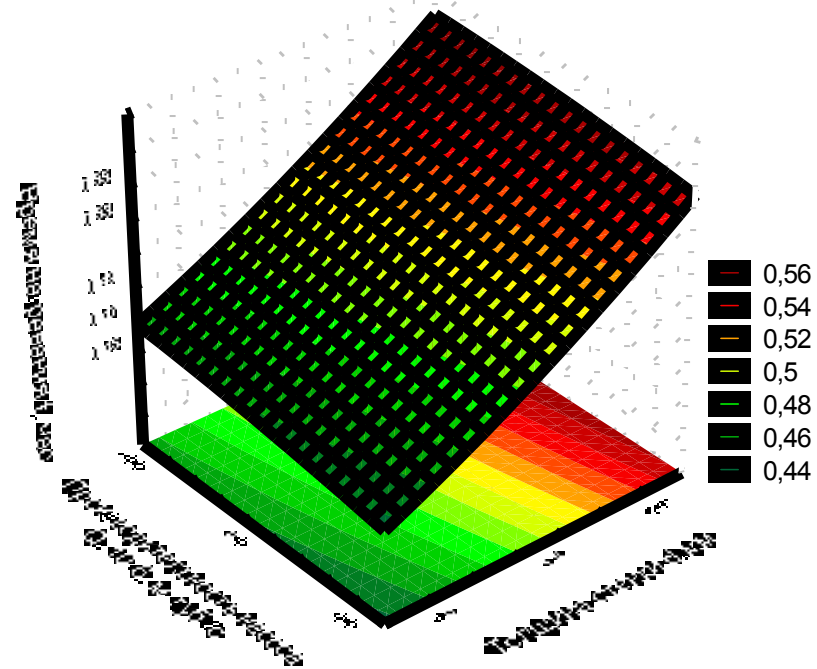


Рисунок Г.10 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на удельный расход энергии, при $n = 5\text{с}^{-1}$



унок Г.11 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на время нагрева СКЭ, при $n = 1\text{с}^{-1}$

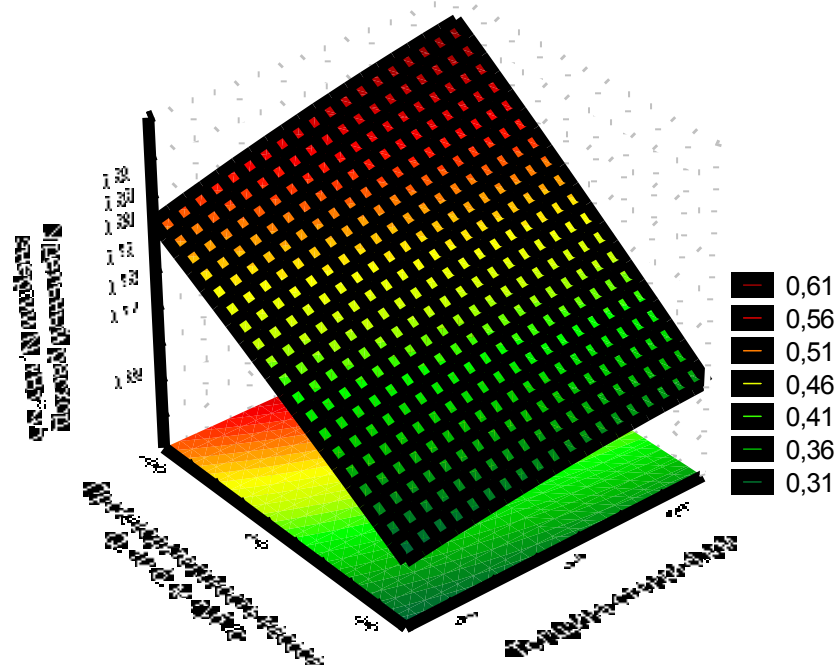


Рисунок Г.12 – Графическое отображение влияния толщины стенки соприкасающейся поверхности и производительности насоса на удельный расход энергии, при $n = 1\text{с}^{-1}$

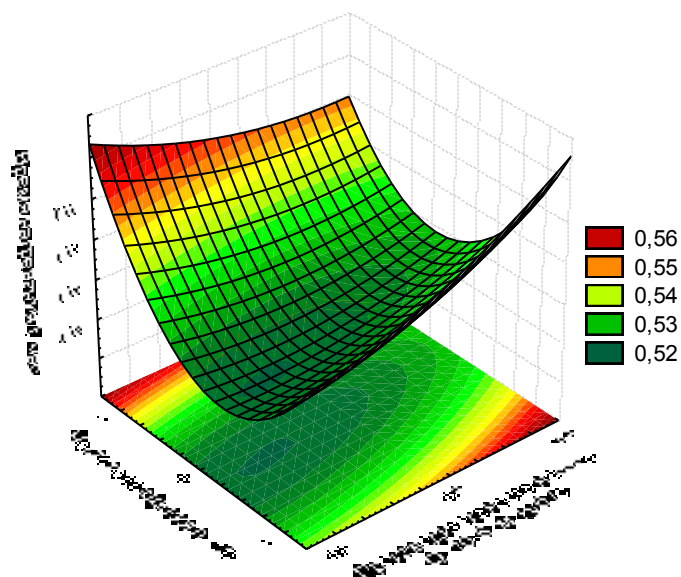


Рисунок Г.13 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на время нагрева, при $\delta = 2$ мм.

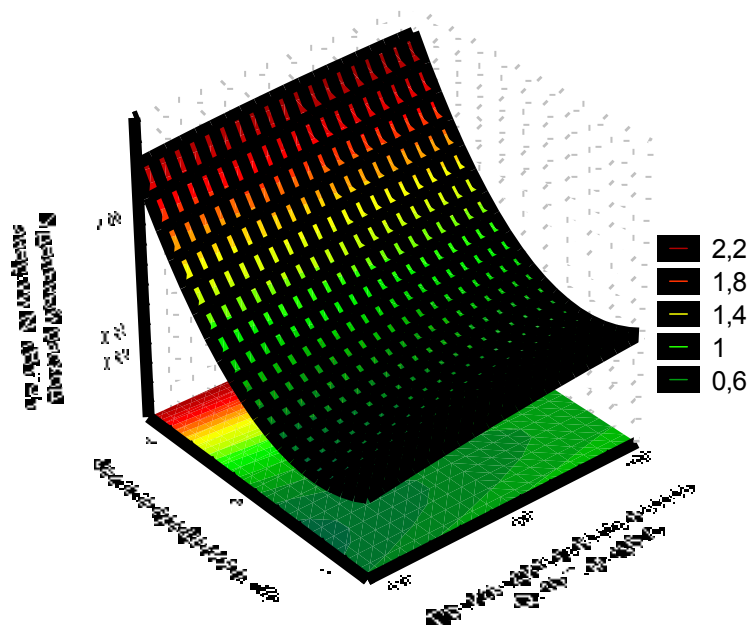


Рисунок Г.14 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии, при $\delta = 2$ мм.

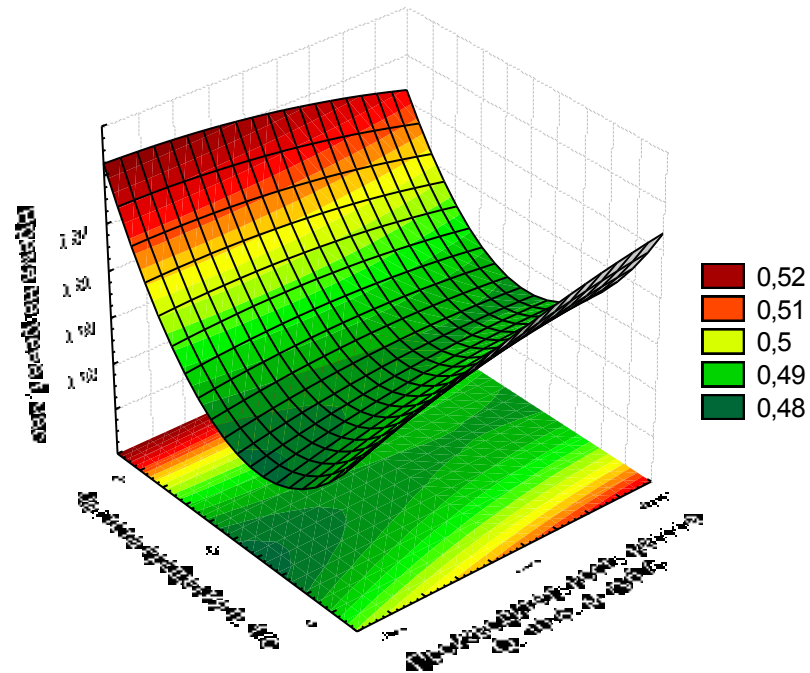


Рисунок Г.15 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на время нагрева, при $\delta = 1,5$ мм.

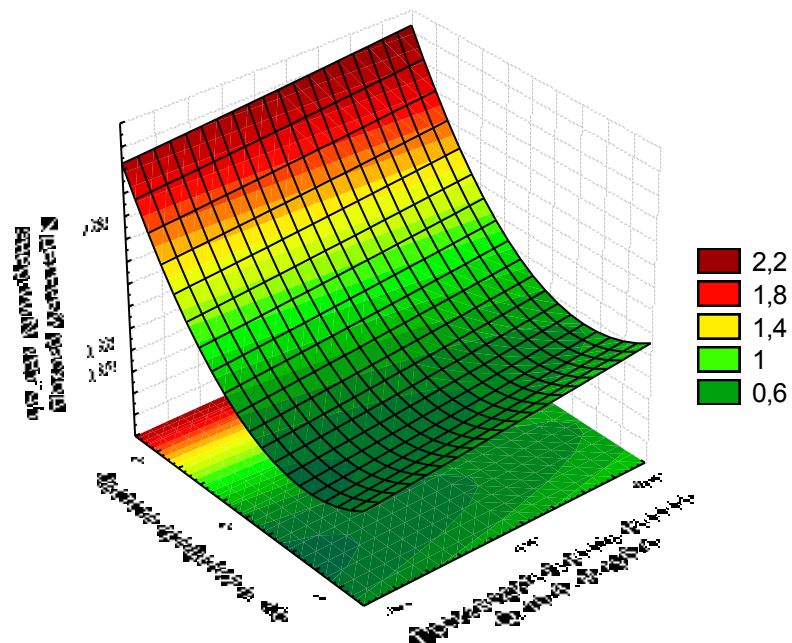


Рисунок Г.16 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии, при $\delta = 1,5$ мм.

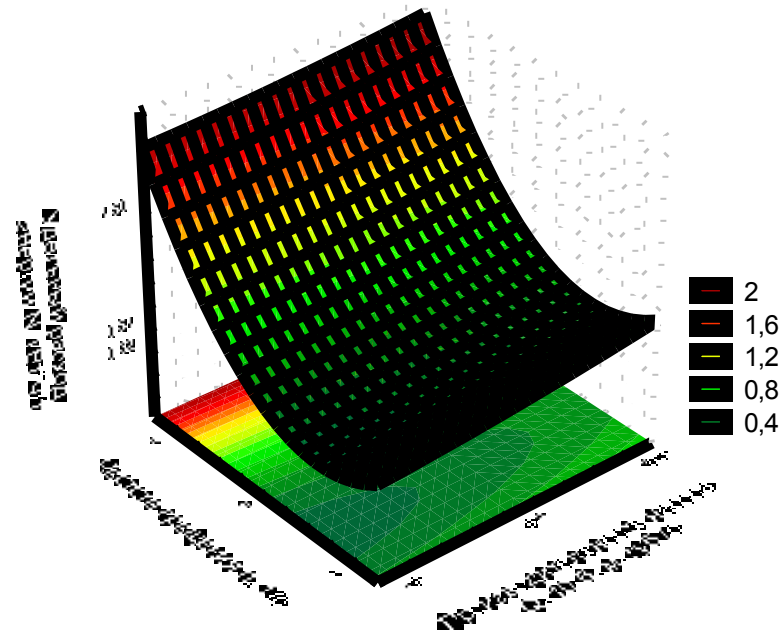


Рисунок Г.17 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на время нагрева, при $\delta = 1$ мм.

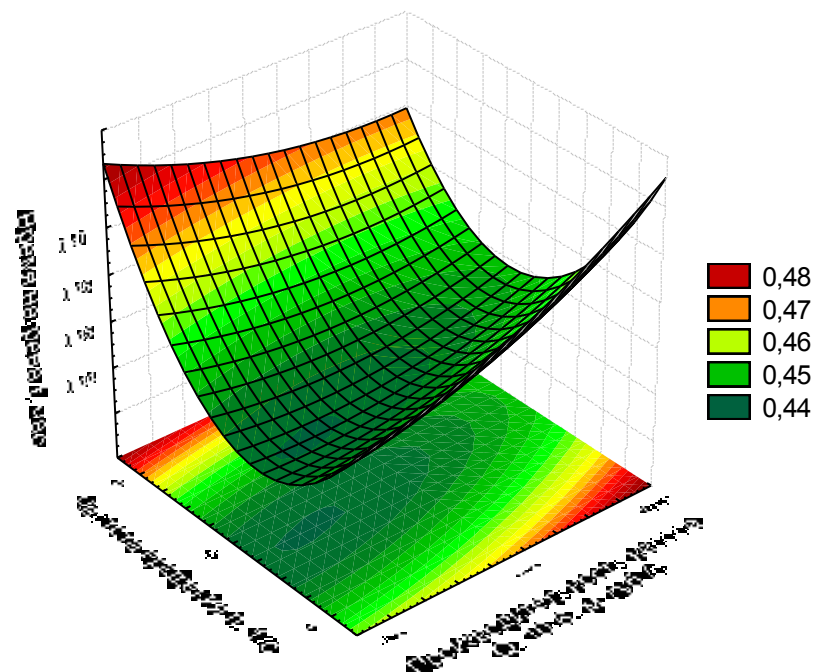


Рисунок Г.18 – Графическое отображение влияния производительности насоса и частоты вращения мешалки на удельный расход энергии, при $\delta = 1$ мм.)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Таблица Д. 1 – Результаты исследований влияния частоты вращения рабочего органа. на производительность шнеко-лопастного смесителя.

Частота вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя (n), мин⁻¹	60	80	100	120	140
Производительность шнеко-лопастного смесителя (Q_{ср}), т/ч	3,0	3,8	4,8	4,3	4,0

Таблица Д.2 – Результаты исследований влияния от частоты вращения рабочего органа на подачу мембранного насоса СКЭ при фиксированных значениях диаметра отверстия жиклеров сменяющихся лопастей.

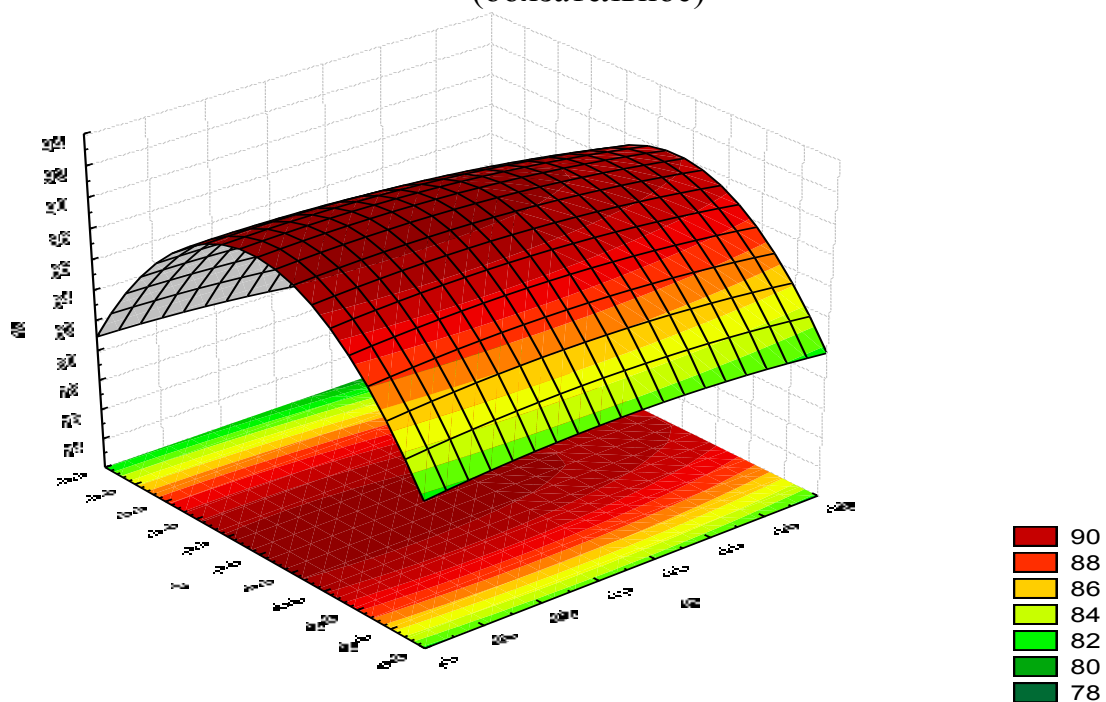
Частота вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя (n), мин⁻¹	60	80	100	120	140
При диаметре отверстия жиклеров d=2мм					
Подача мембранного насоса нейтрализаторв СКЭ (Q_{ср}), т/ч	0,53	0,64	0,66	0,62	0,59
При диаметре отверстия жиклеров d=4мм					
Подача мембранного насоса нейтрализаторв СКЭ (Q_{ср}), т/ч	0,62	0,71	0,79	0,75	0,71
При диаметре отверстия жиклеров d=6мм					
Подача мембранного насоса нейтрализаторв СКЭ (Q_{ср}), т/ч	0,71	0,84	0,86	0,83	0,80

Таблица Д.3 – Результаты исследований влияния частоты вращения на амплитуды осевого перемещения рабочего органа смесителя, при фиксированной массе груза возвратного устройства.

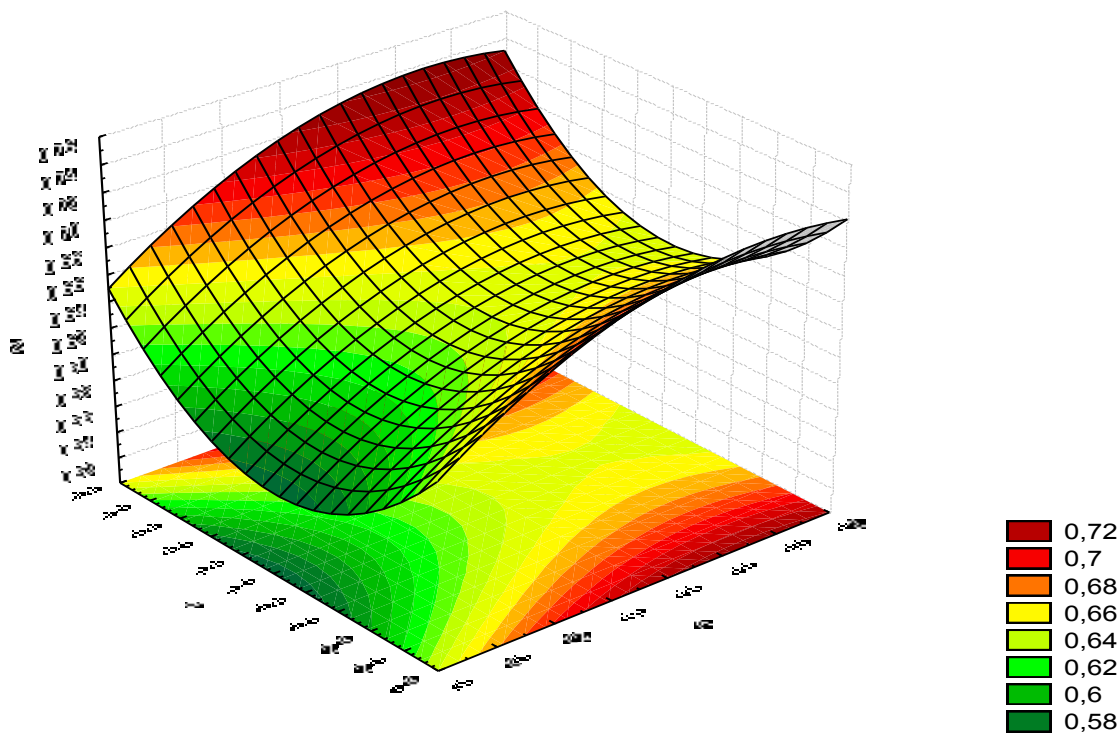
Частота вращения рабочего органа шнеко-лопастного смесителя (n), мин⁻¹	60	80	100	120	140
Масса груза возвратного устройства m= 5,0кг					
Амплитуда колебаний мембраны насоса СКЭ (A_{cp}), мм	34,8	37,0	41,0	35,0	32,8
Масса груза возвратного устройства m= 10,0кг					
Амплитуда колебаний мембраны насоса СКЭ (A_{cp}), мм	50,0	55,0	60,0	55,0	54,0
Масса груза возвратного устройства m= 15,0кг					
Амплитуда колебаний мембраны насоса СКЭ (A_{cp}), мм	24,0	26,6	28,0	26,0	24,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

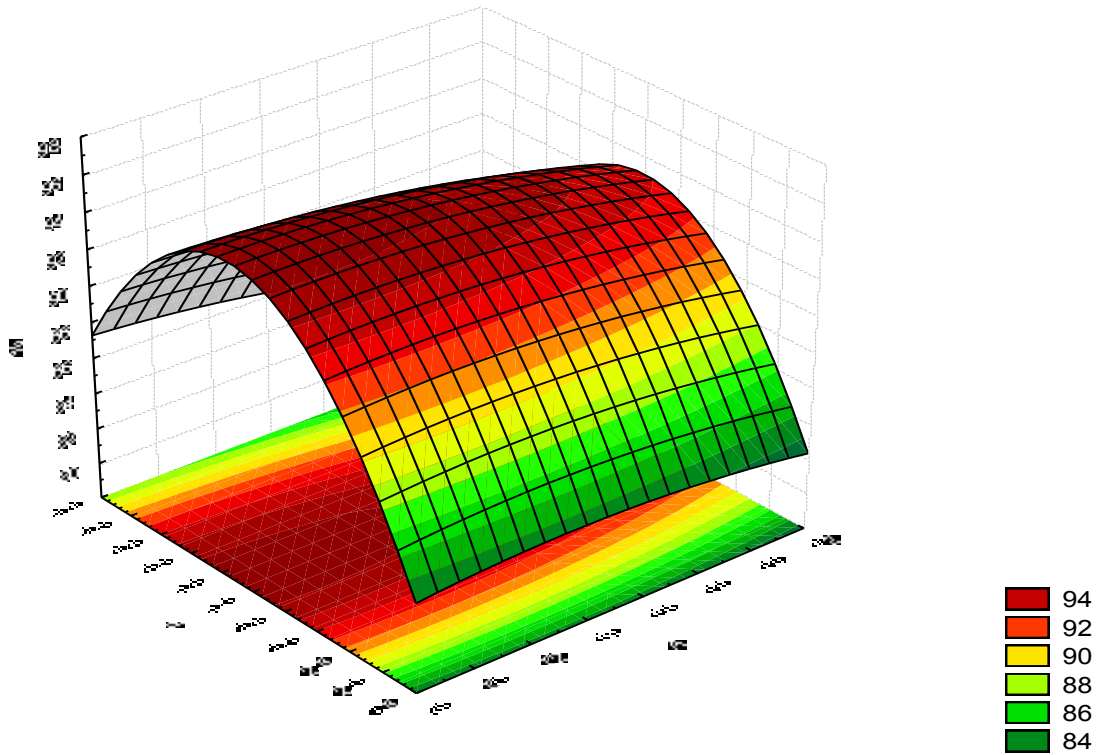


1.

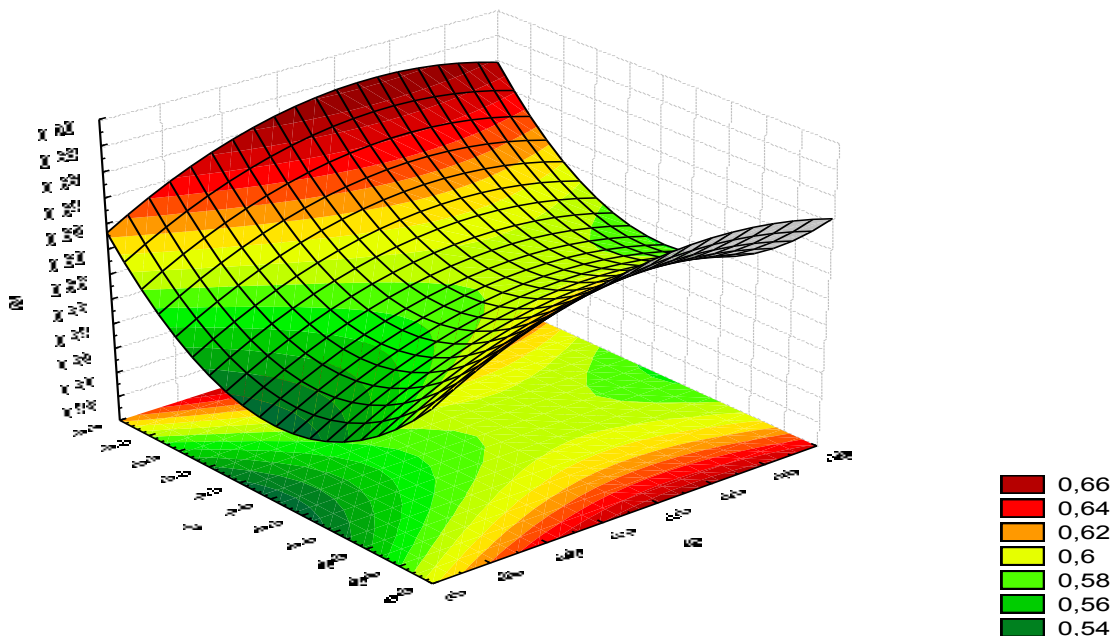


2.

Рисунок Е.1 – Графическое отображение влияния амплитуды колебаний мембраны и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $n=80 \text{ мин}^{-1}$

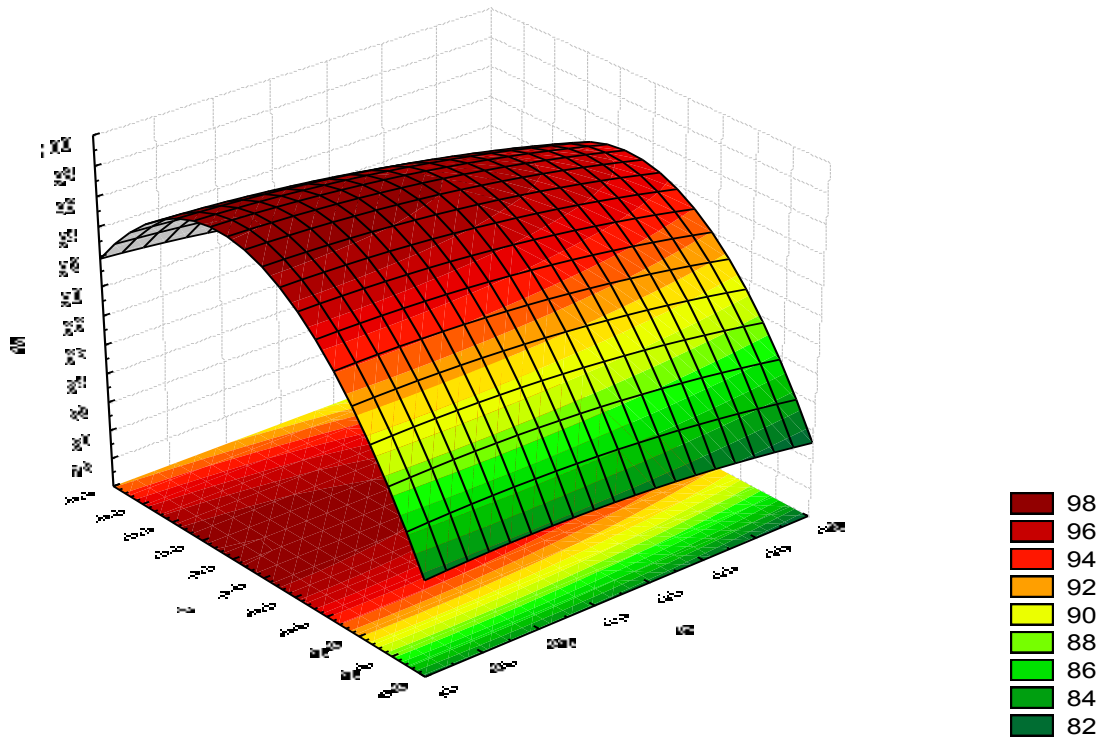


1.



2.

Рисунок Е.2 – Графическое отображение влияния амплитуды колебаний мембраны и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $n=100 \text{ мин}^{-1}$.



1.

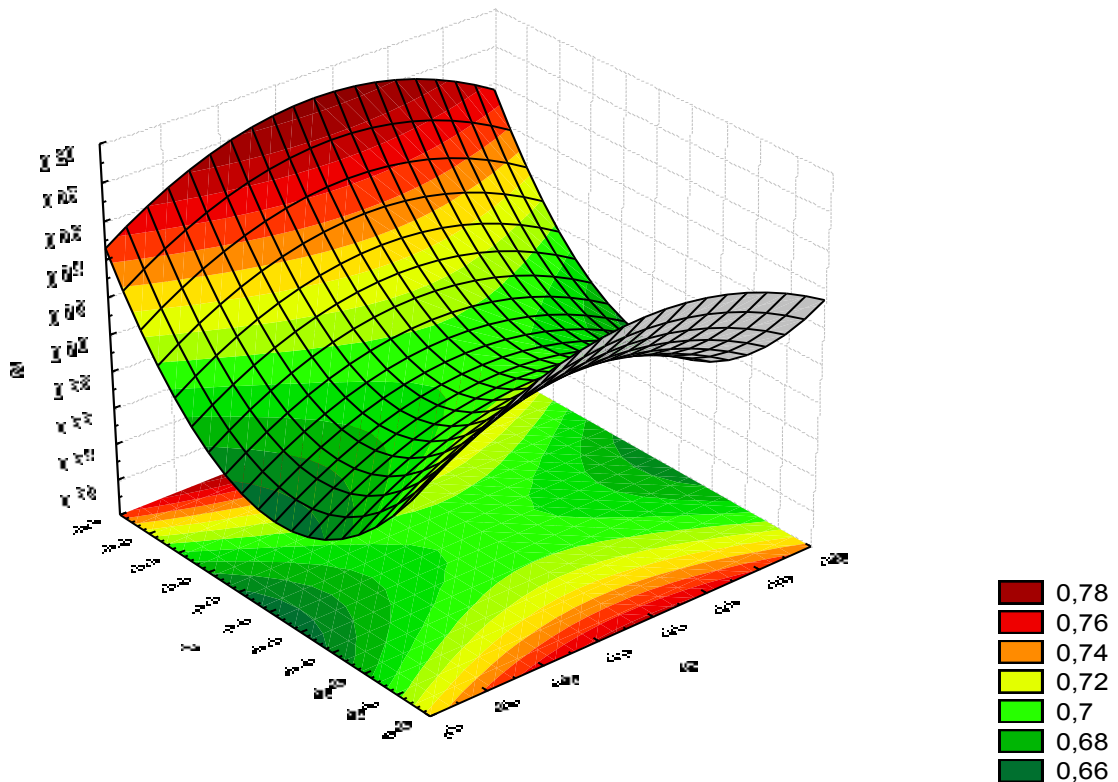


Рисунок Е.3 – Графическое отображение влияния амплитуды колебаний мембраны и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $n=120 \text{ мин}^{-1}$.

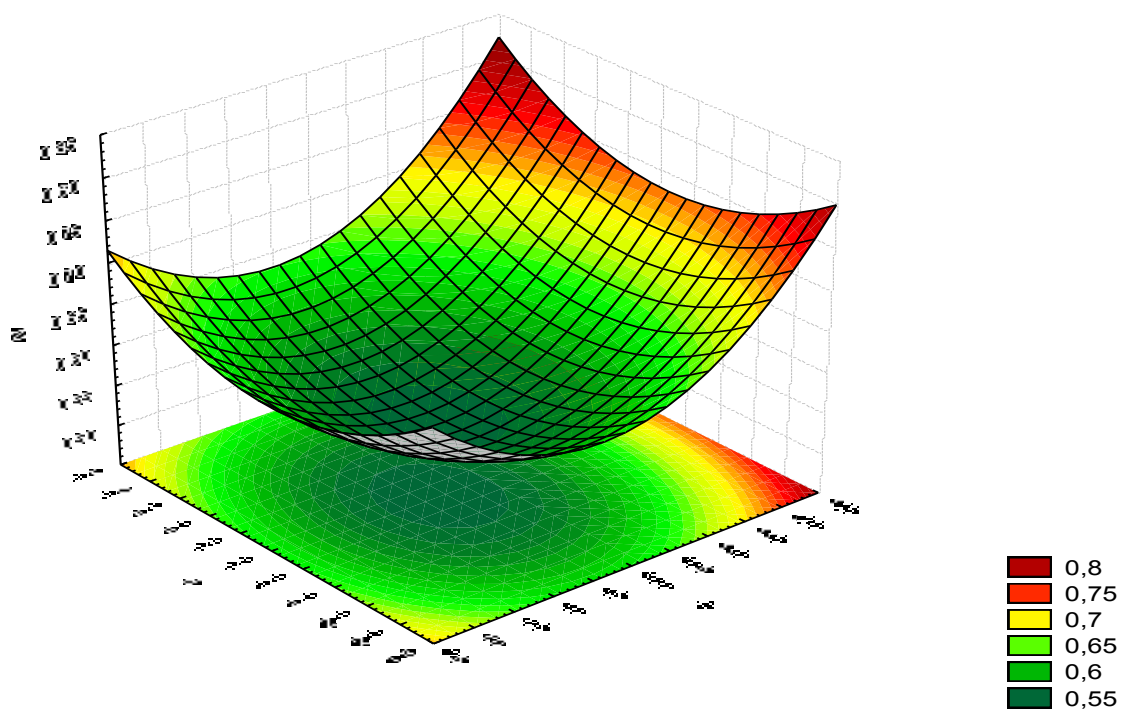
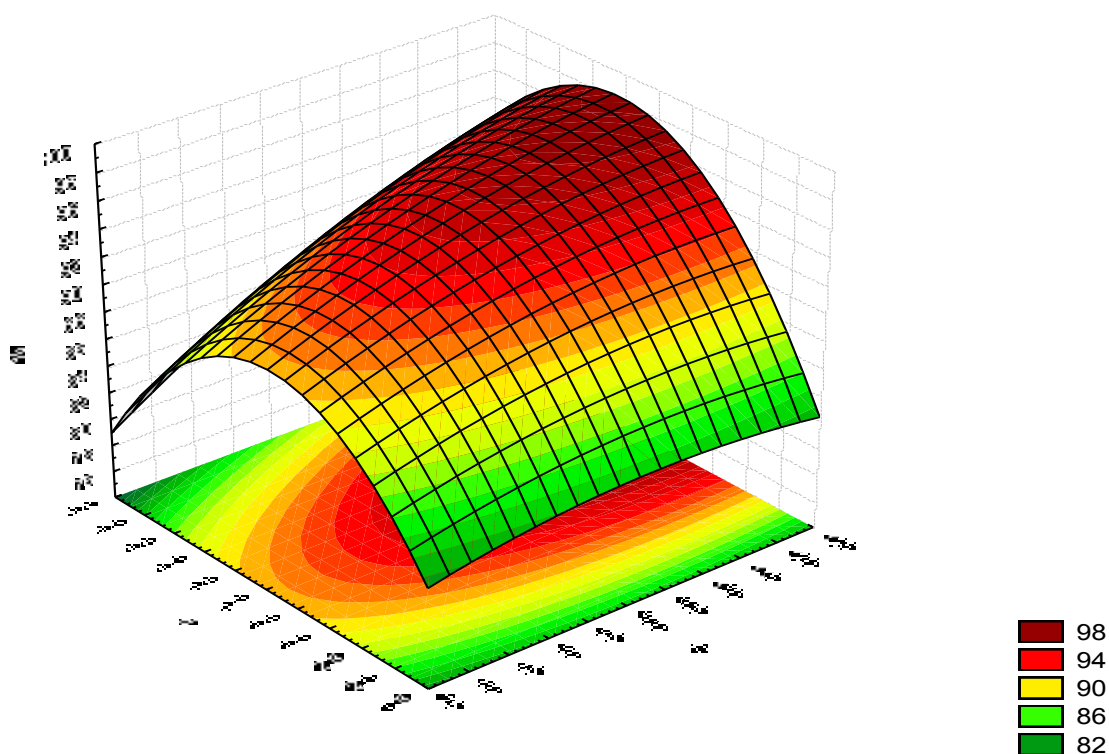
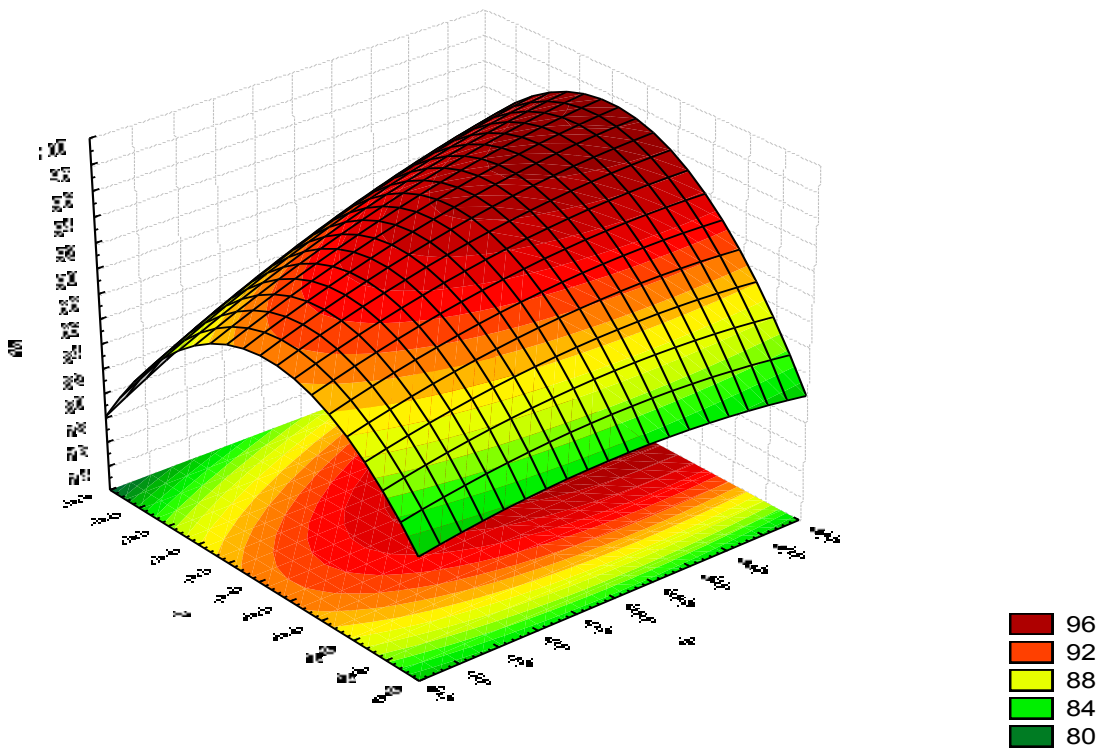
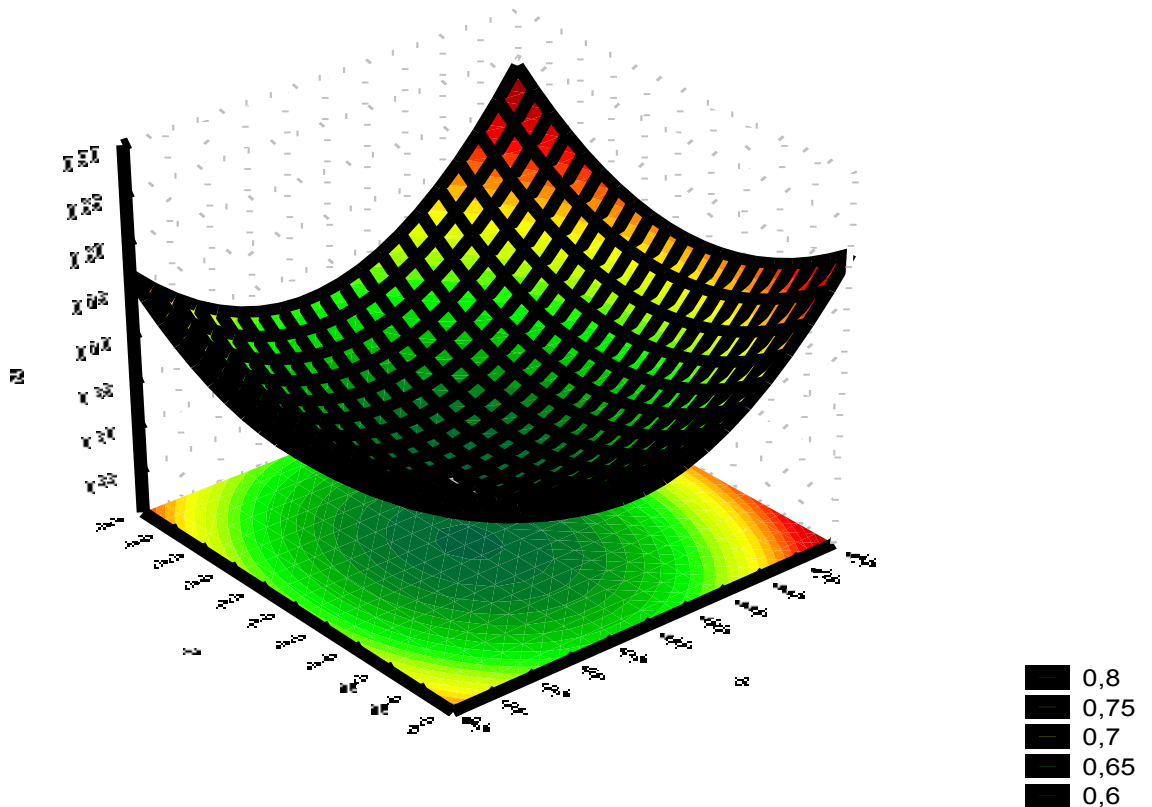


Рисунок 4 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $A=50$ мм.



1.



2.

Рисунок Е.5 – Рисунок 4 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $A=55$ мм.

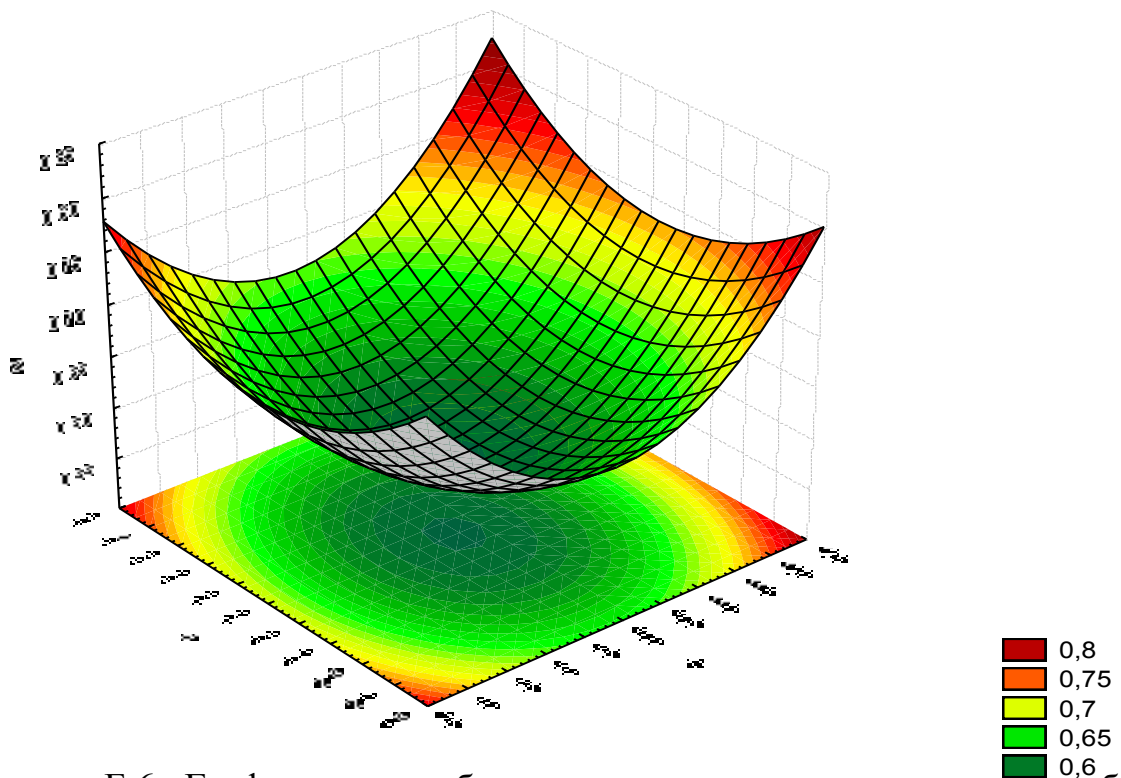
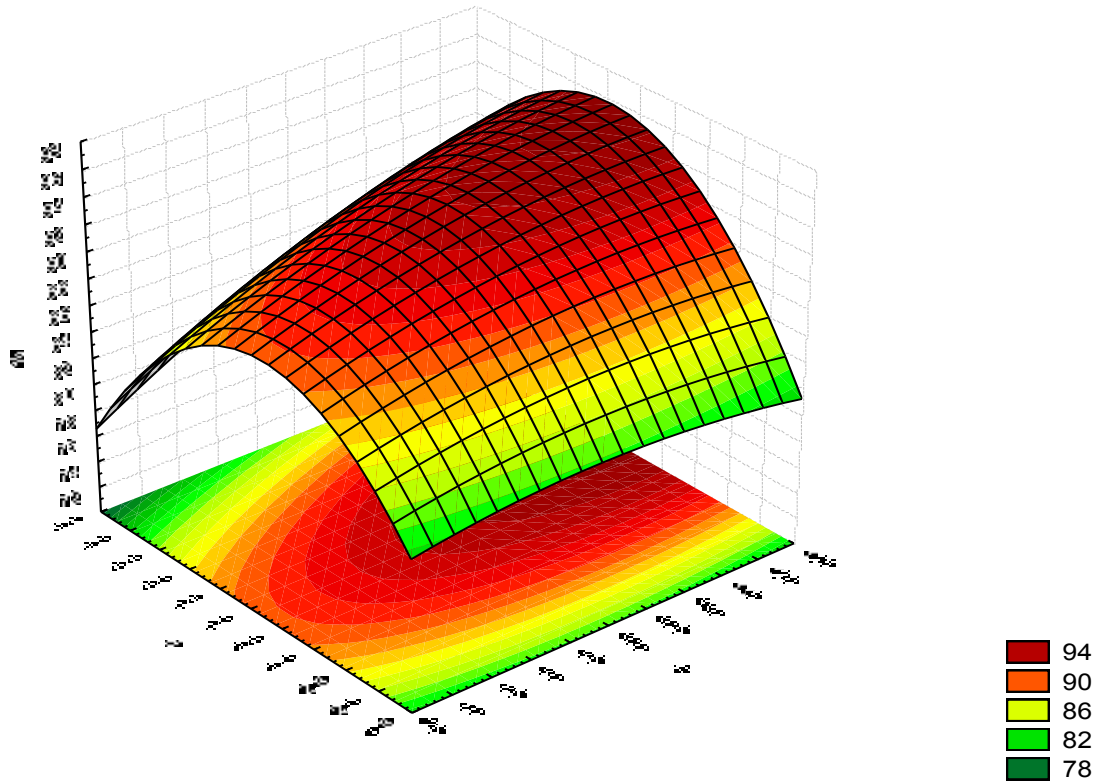


Рисунок Е.6 –Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и диаметра отверстия лопастей на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $A=60$ мм.

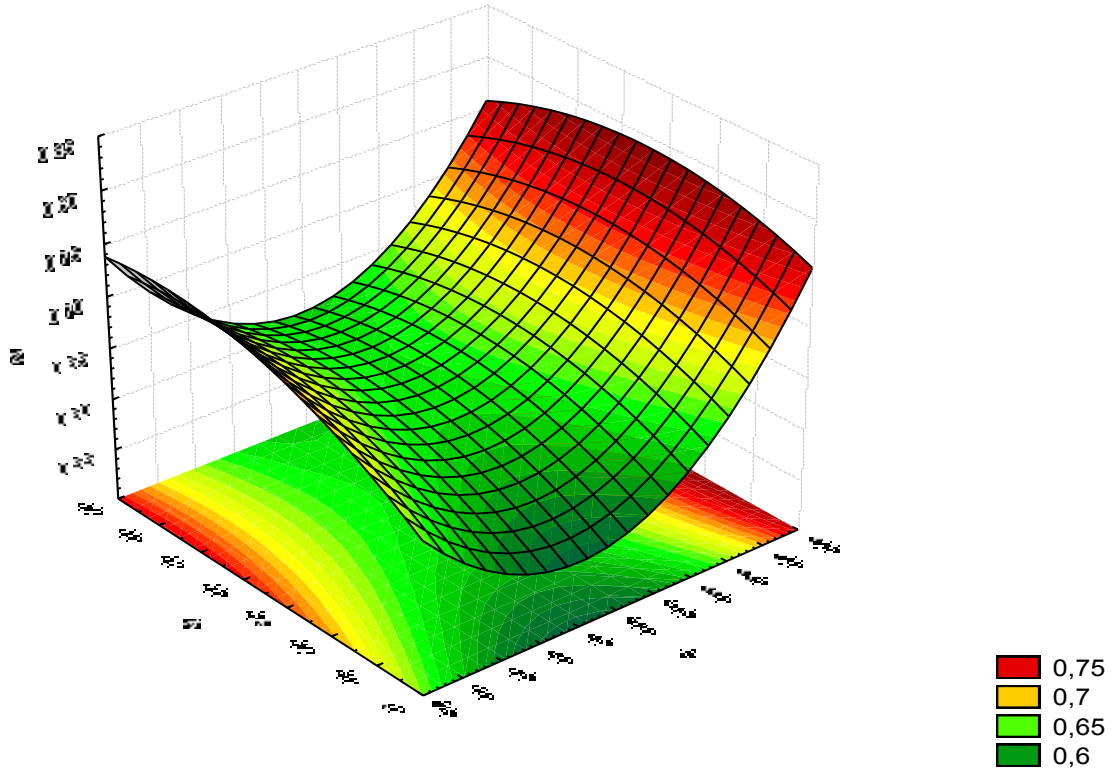
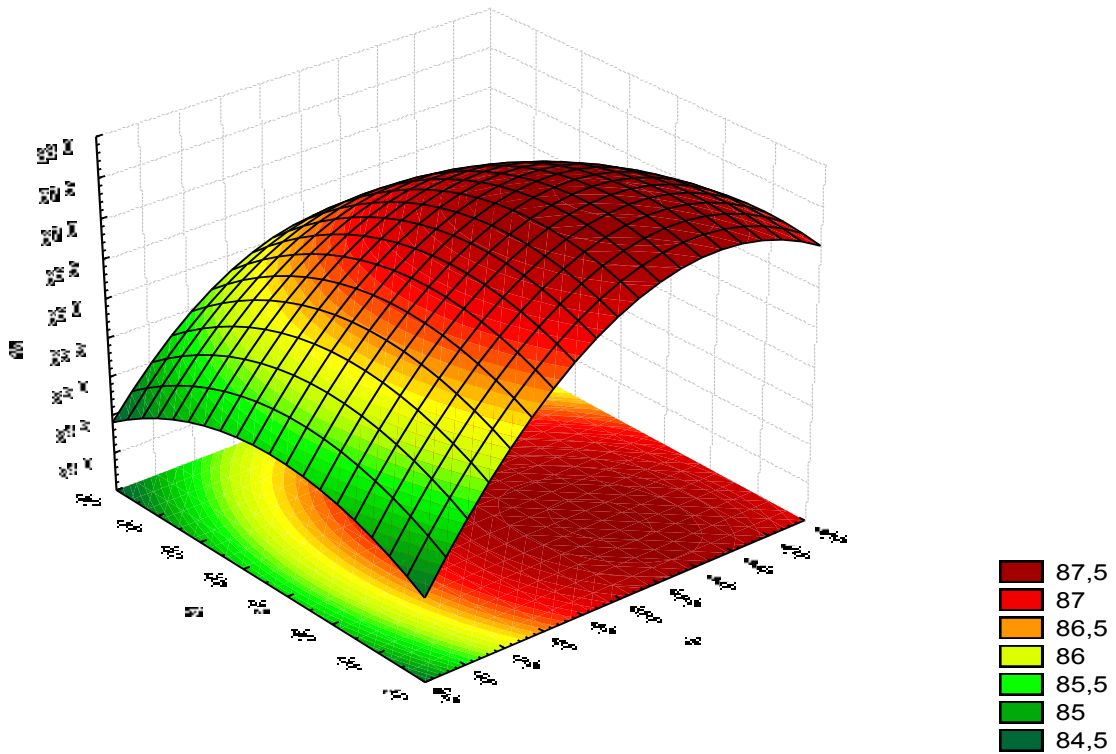
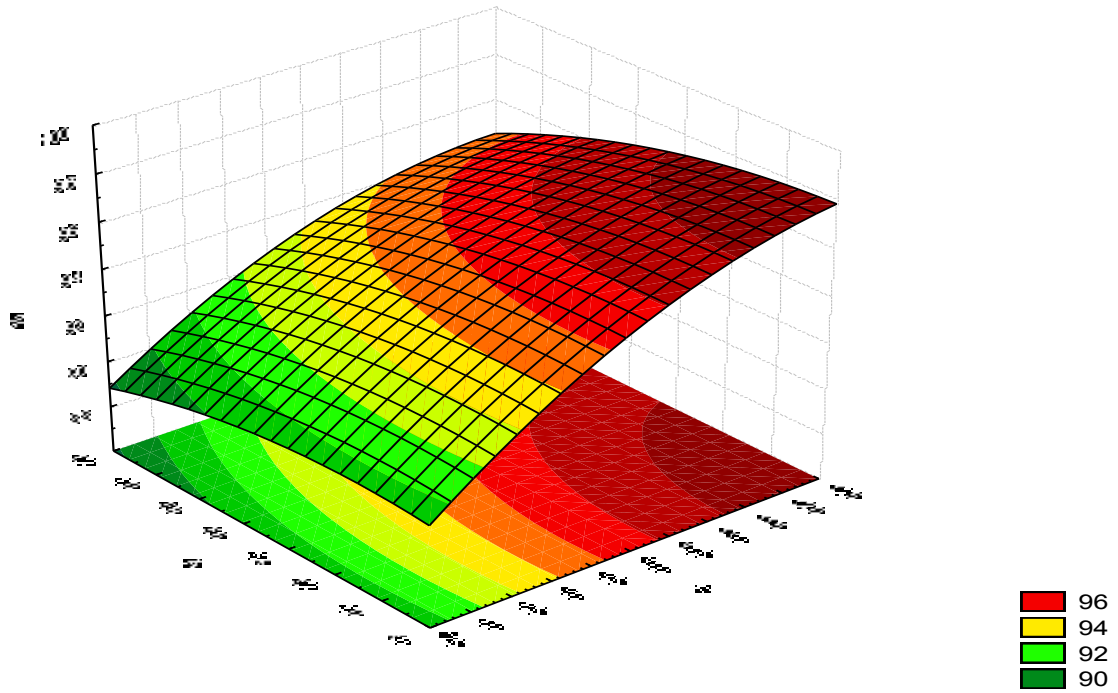
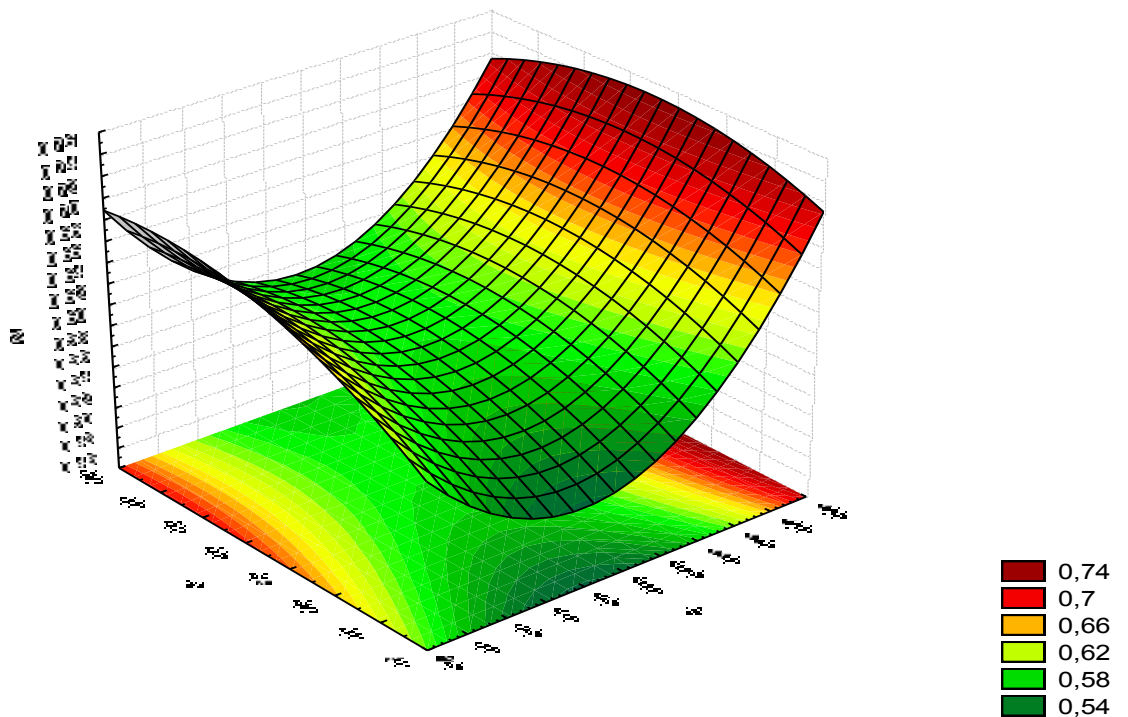


Рисунок 7 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и амплитуды колебаний мембраны на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $d=2$ мм.

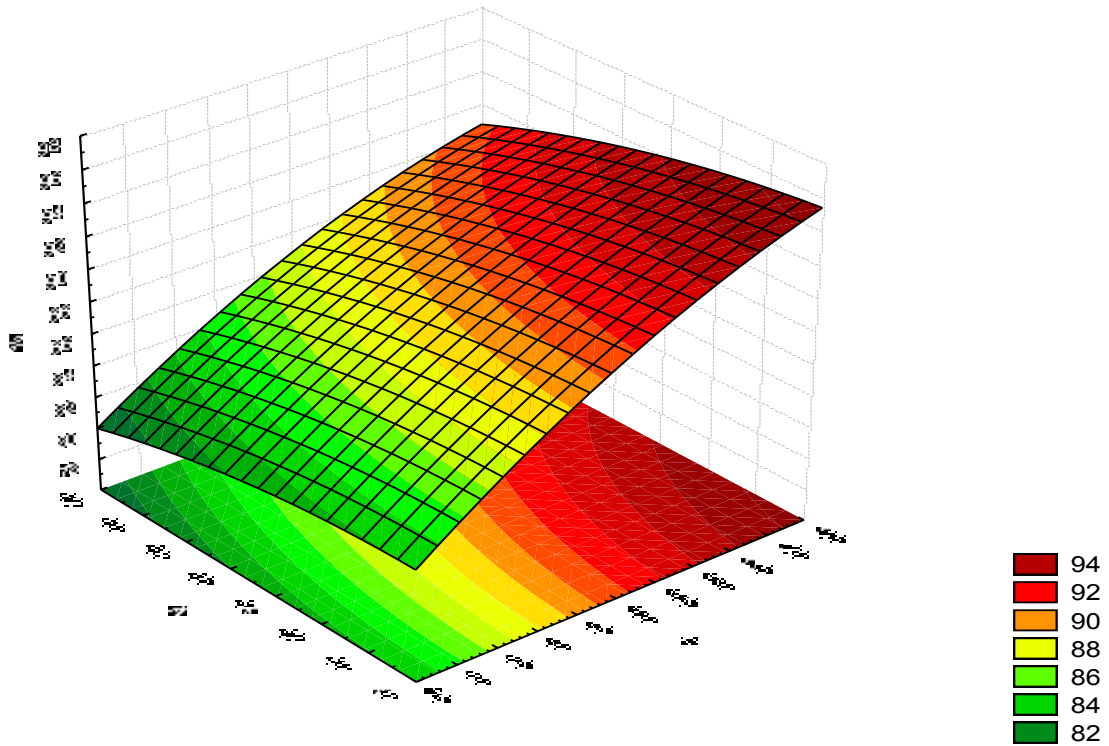


1.

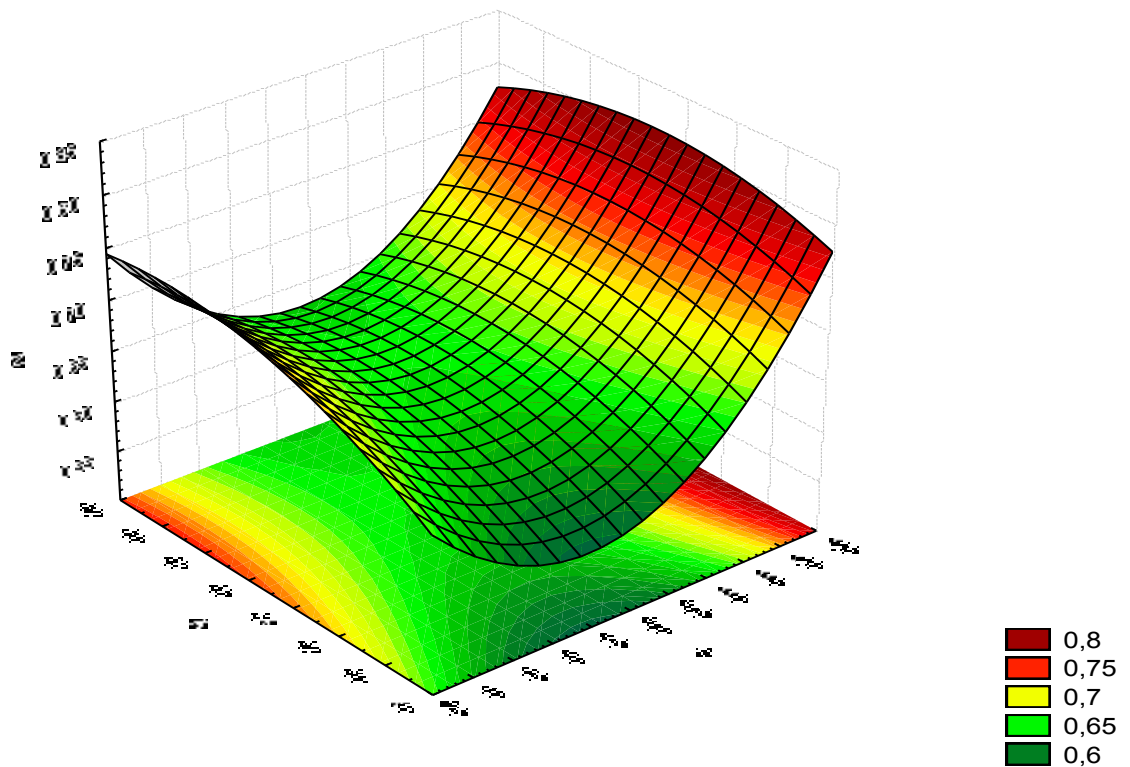


2.

Рисунок 8 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и амплитуды колебаний мембраны на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $d=4$ мм.



1.



2.

Рисунок Е.9 – Графическое отображение влияния частоты вращения рабочего органа и амплитуды колебаний мембраны на степень однородности ВКК (1) и удельный расход энергии (2), при $d=6$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)

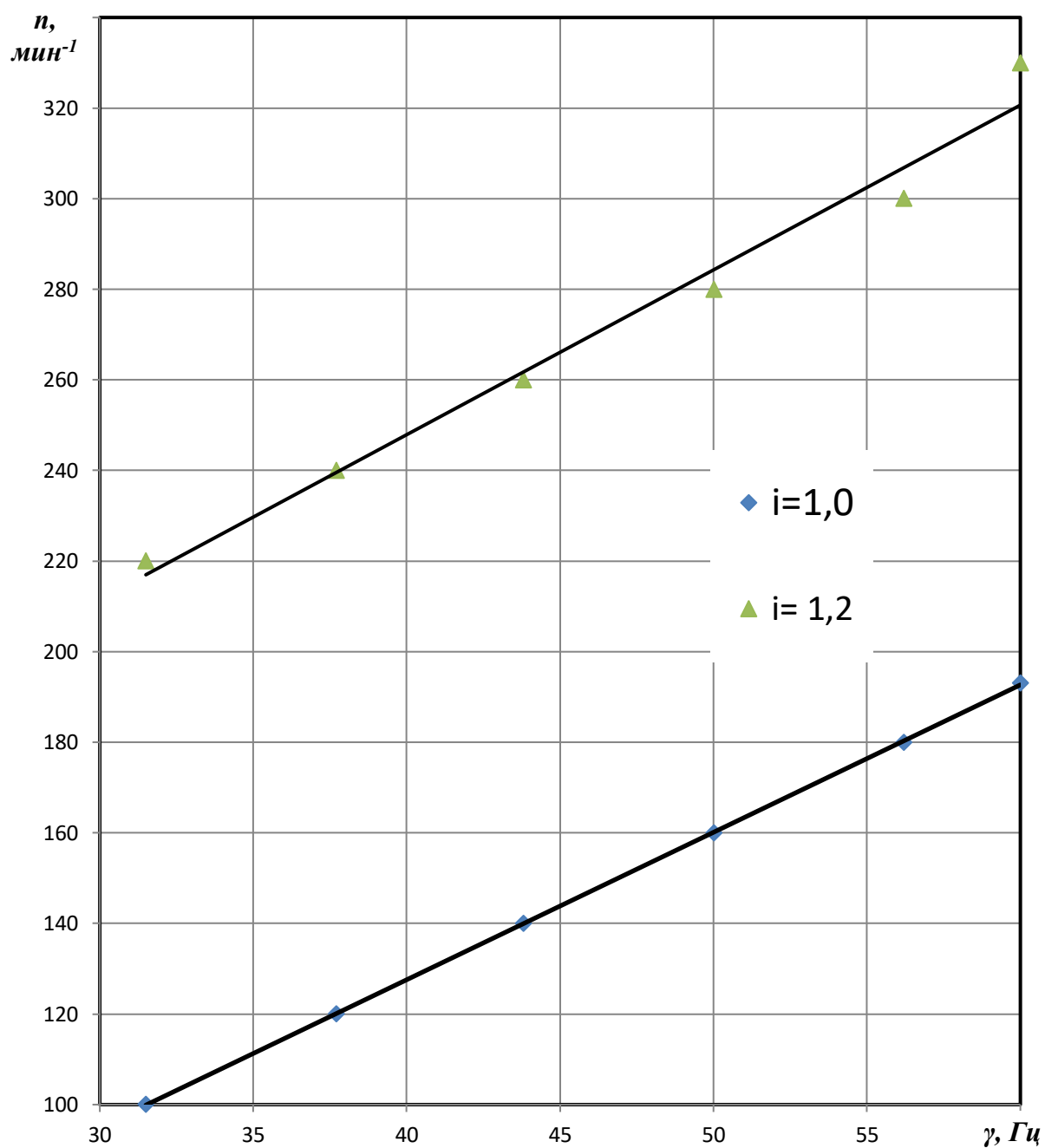


Рисунок Ж.1 – Графическое отображение влияния частоты электрического тока (γ) на частоту вращения рабочего органа спирального смесителя (n), при различном передаточном отношении цепной передачи(i)/

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(обязательное)

Таблица И. 1 – Результаты исследований влияния частоты вращения рабочего органа на производительность и удельные затраты спирального смесителя.

Показатели		Частота вращения рабочего органа спирального смесителя (n), мин ⁻¹												
		100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	350
Производительность (Q), кг/ч	X	395	649	795	1108	1343	1487	1561	1698	1860	2057	2215	2629	2970
		397	647	797	1106	1340	1489	1564	1694	1862	2054	2213	2625	2975
		394	646	799	1105	1344	1490	1560	1700	1859	2058	2216	2624	2971
		394	648	795	1112	1346	1485	1564	1699	1863	2059	2214	2632	2966
		405	650	799	1114	1342	1484	1556	1699	1866	2057	2217	2635	2968
	\bar{X}	397	648	797	1109	1343	1487	1561	1698	1862	2057	2215	2629	2970
S_x	4,6	1,6	2,0	3,9	2,2	2,5	3,3	2,3	2,7	1,9	1,6	4,6	3,4	
$V, \%$	1,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	
ΔX	5,8	2,0	2,5	4,8	2,8	3,2	4,1	2,9	3,4	2,3	2,0	5,8	4,2	
Затраты удельной энергии (W), Вт	X	85	120	138	165	206	232	261	276	294	315	411	480	645
		80	114	142	168	204	231	260	275	297	313	412	481	644
		79	111	141	169	204	225	263	277	295	315	410	482	645
		80	117	142	162	206	224	260	275	298	316	411	477	644
		81	108	142	161	200	228	261	277	286	316	411	480	647
	\bar{X}	81	114	141	165	204	228	261	276	294	315	411	480	645
S_x	2,3	4,7	1,7	3,5	2,4	3,5	1,2	1,0	3,2	1,2	0,7	1,9	1,2	
$V, \%$	2,8	4,1	1,2	2,1	1,2	1,5	0,5	0,4	1,6	0,4	0,2	0,4	0,2	
ΔX	2,9	5,9	2,1	4,4	3,1	4,4	1,5	1,25	3,9	1,5	0,9	2,3	1,5	

Таблица И. 2 – Результаты исследований влияния шага спирали на производительность и удельные затраты энергии спирального смесителя.

Показатели		Шаг спирали(s), мм				
		35	50	65	80	95
Производительность (Q), кг/ч	X	853	1190	1359	1589	1234
		850	1200	1350	1586	1230
		857	1202	1356	1580	1239
		855	1196	1361	1582	1238
		850	1197	1354	1593	1229
	\bar{X}	853	1197	1356	1589	1234
	S_x	3,1	4,6	4,3	6,2	4,5
	V,%	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
ΔX	3,9	5,7	5,4	7,8	5,7	
Затраты удельной энергии (W), Вт	X	150	180	210	272	271
		149	183	205	267	270
		151	179	204	268	275
		151	178	213	270	268
		149	180	218	273	266
	\bar{X}	150	180	210	272	271
	S_x	1,0	1,9	4,3	6,2	4,5
	V,%	0,7	1,1	0,3	0,4	0,4
ΔX	1,25	2,30	5,4	7,8	5,7	

Таблица И.3 – Результаты исследований зависимости производительности и мощности смесителя от эксцентриситета конца спирали.

Показатели		Эксцентриситет установки спирали на ведущей цапфе (k), мм				
		55	68	81	94	105
		Производительность (Q) , кг/ч	X	1000	1024	1016
1004	1020			1015	964	893
1006	1022			1015	962	892
1000	1024			1017	966	888
1010	1030			1017	963	887
\bar{X}	1004		1024	1016	964	890
S_x	4,2		3,7	1,0	1,6	2,5
$V, \%$	0,4		0,4	0,1	0,2	0,3
ΔX	5,3	4,7	1,25	2,0	3,2	
Затраты удельной энергии (W), Вт	X	220	310	424	581	753
		225	310	420	575	755
		215	310	425	579	752
		220	310	416	585	748
		220	310	415	580	744
	\bar{X}	220	310	420	580	750
	S_x	3,5	0,0	4,5	3,6	4,4
	$V, \%$	1,6	0,0	1,1	0,6	0,6
	ΔX	4,4	0,0	5,7	4,5	5,5

ПРИЛОЖЕНИЕ К

(обязательное)

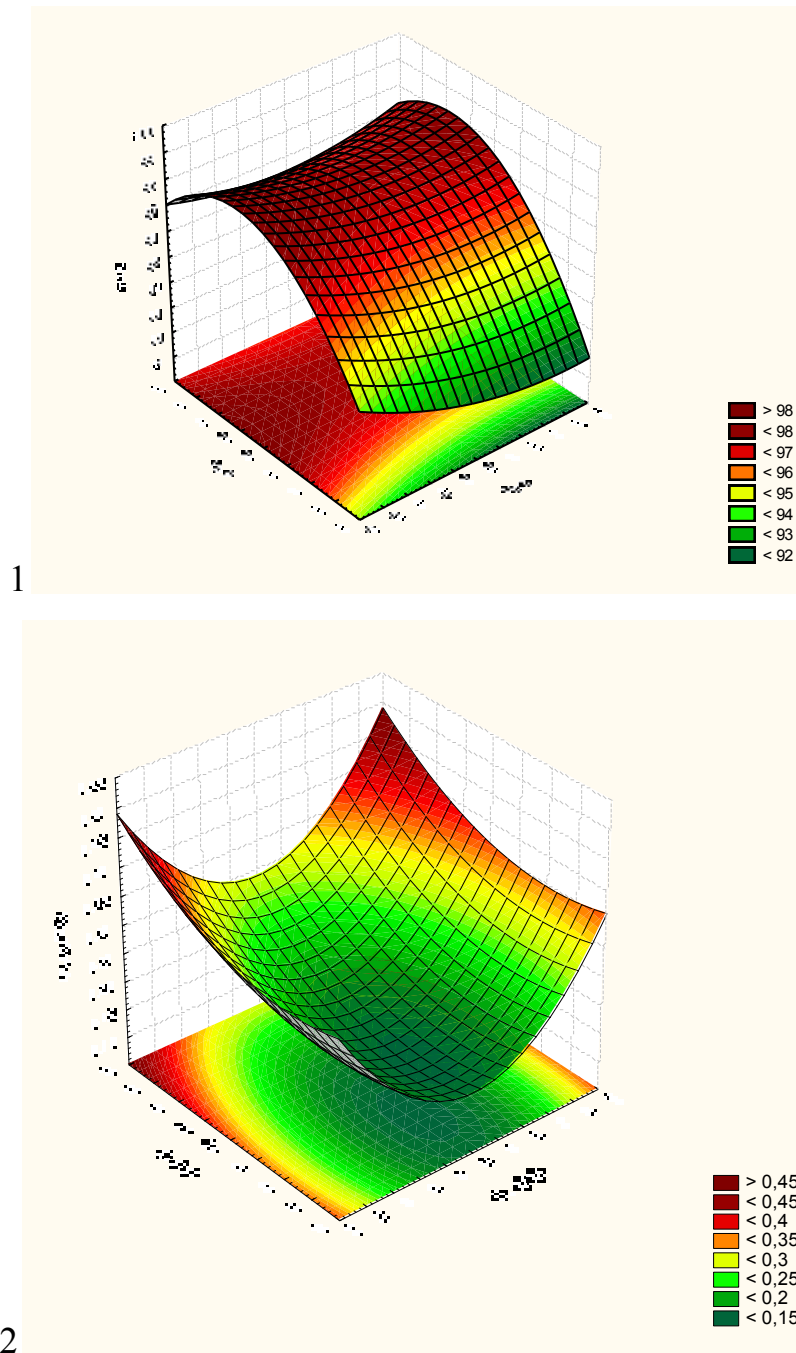


Рисунок К.1 – Графическое отражение влияния шага спирали и эксцентриситета на степень однородности СКК(1) и удельный расход энергии (2), при $n=300 \text{ мин}^{-1}$.

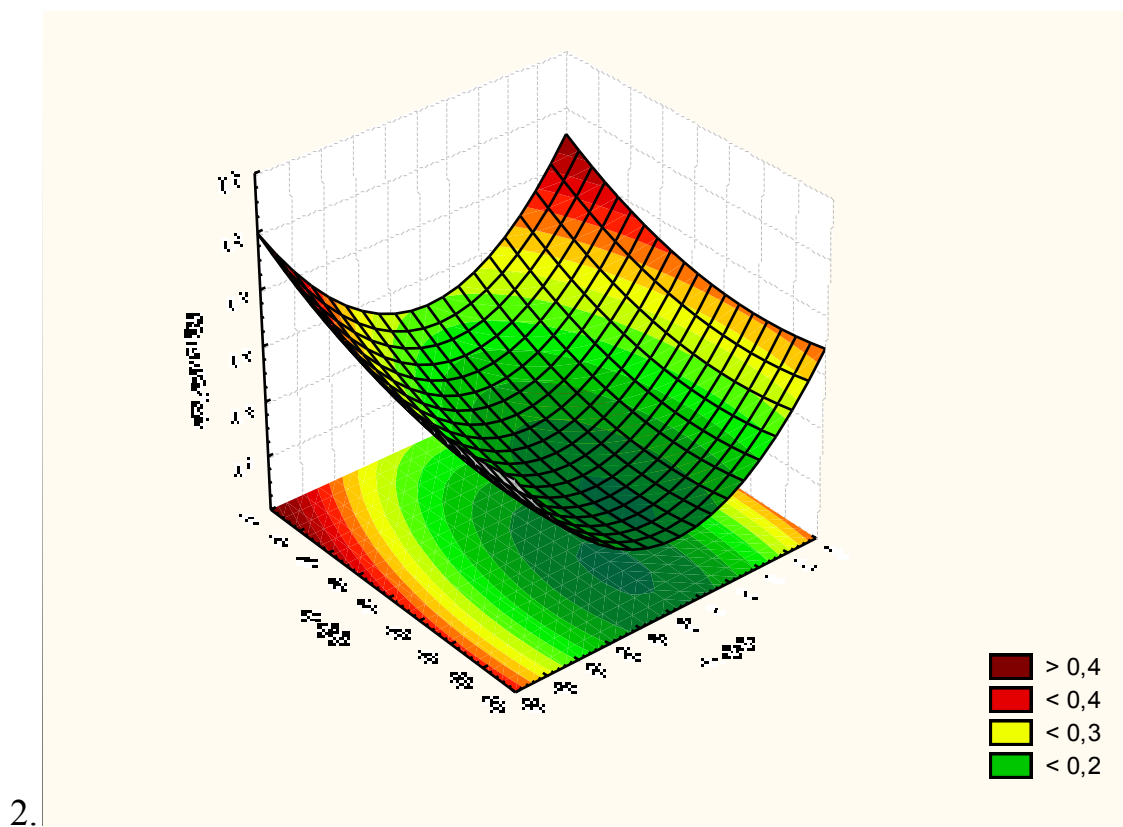
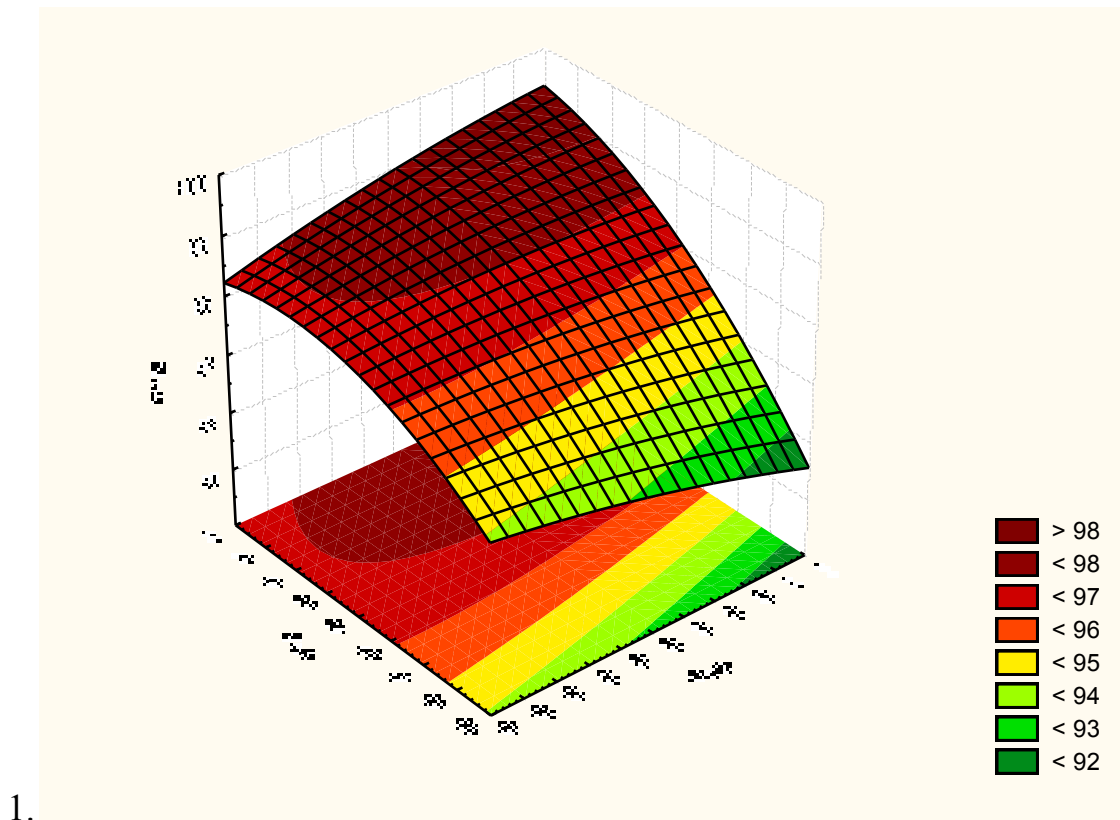


Рисунок К.2 – Графическое отражение влияния шага спирали и эксцентриситета на степень однородности СКК(1) и удельный расход энергии (2), при $n=200 \text{ мин}^{-1}$.

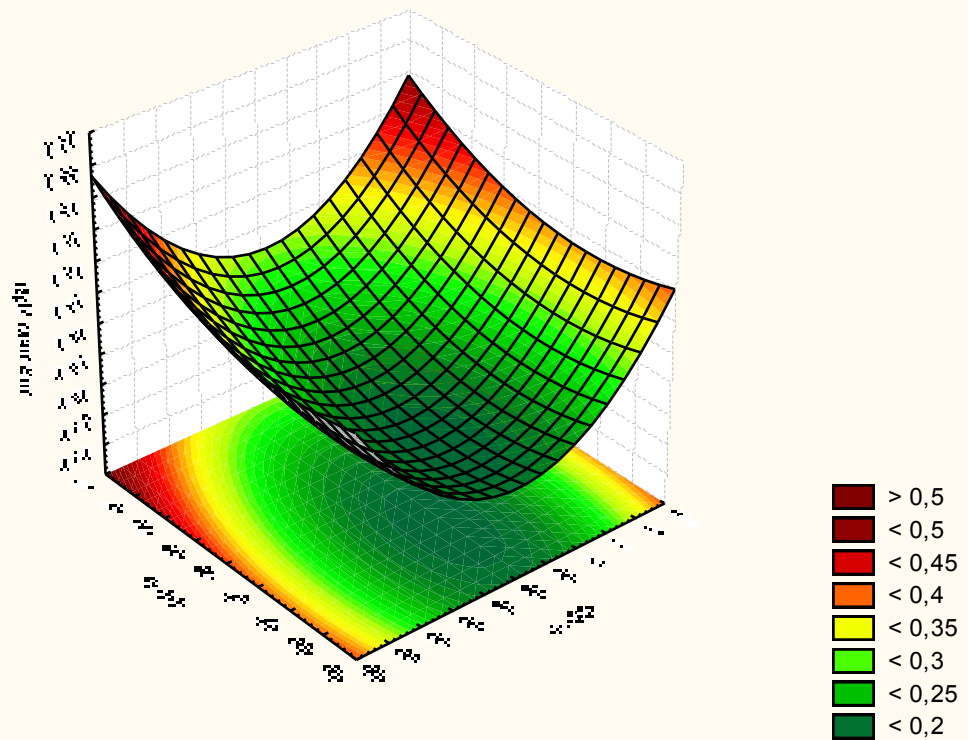
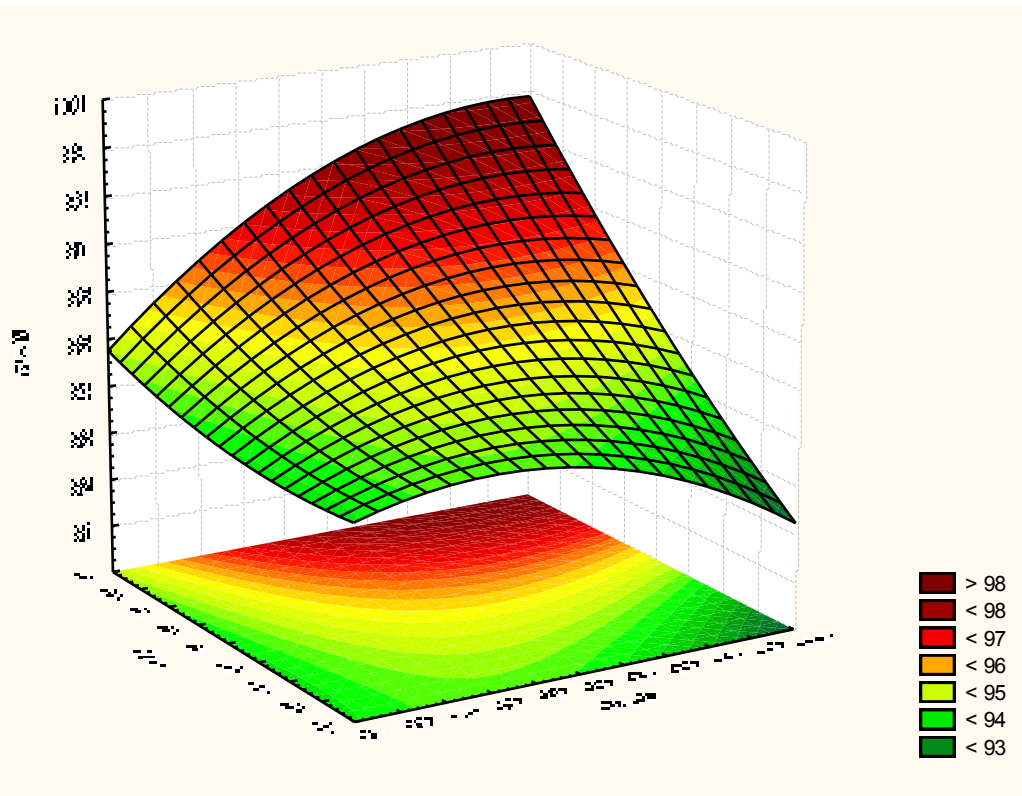


Рисунок К.3 – Графическое отражение влияния шага спирали и эксцентриситета на степень однородности СКК(1) и удельный расход энергии (2), при $n=100 \text{ мин}^{-1}$.

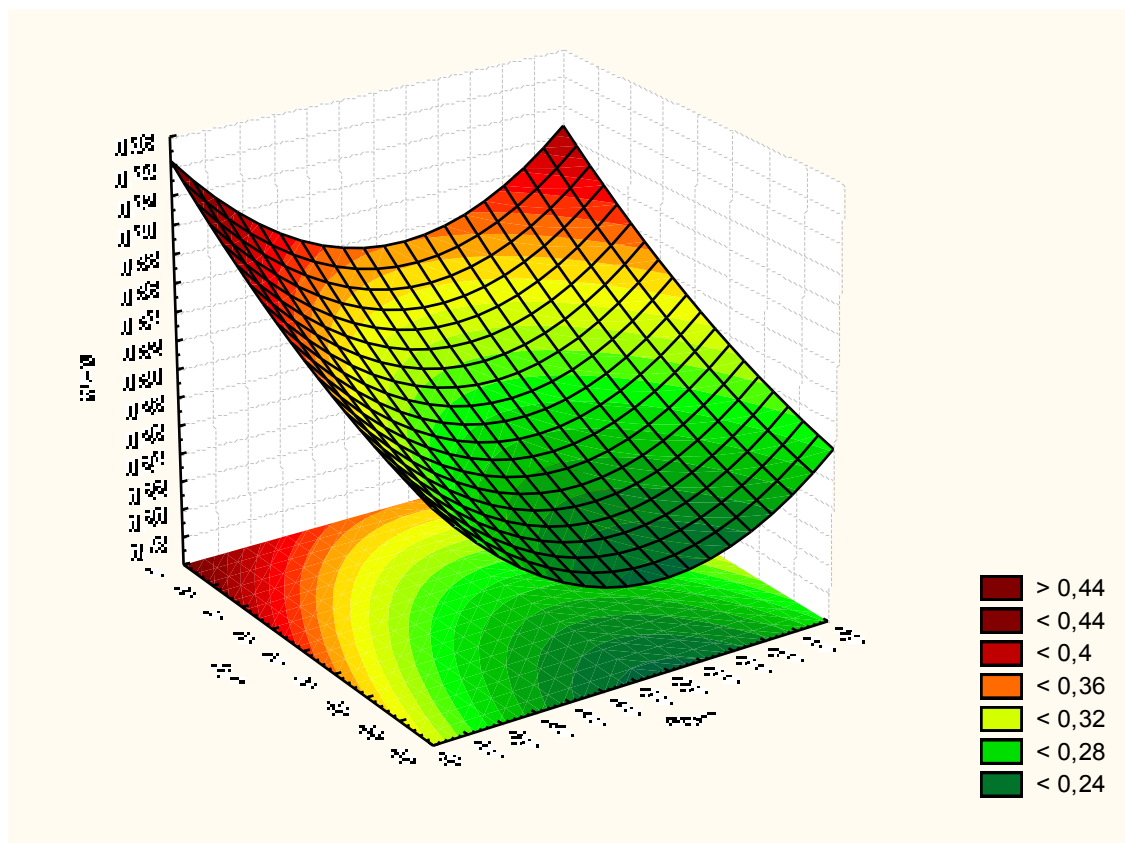
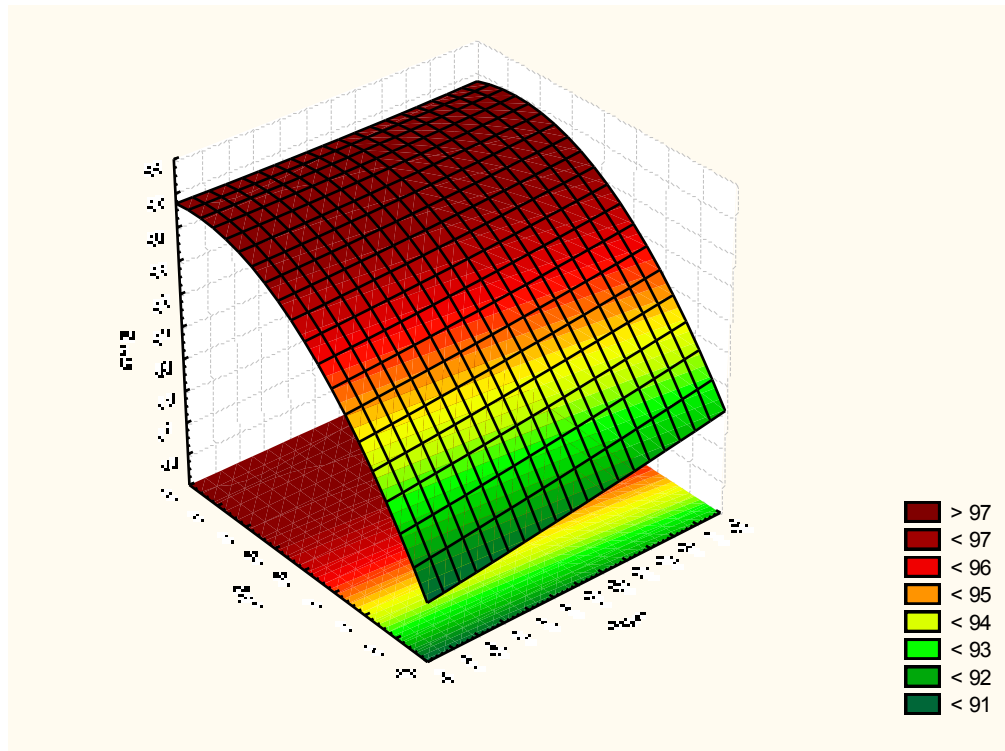


Рисунок К.4 – Графическое отражение влияния частоты вращения и эксцентриситета на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), при $s=95$ мм.

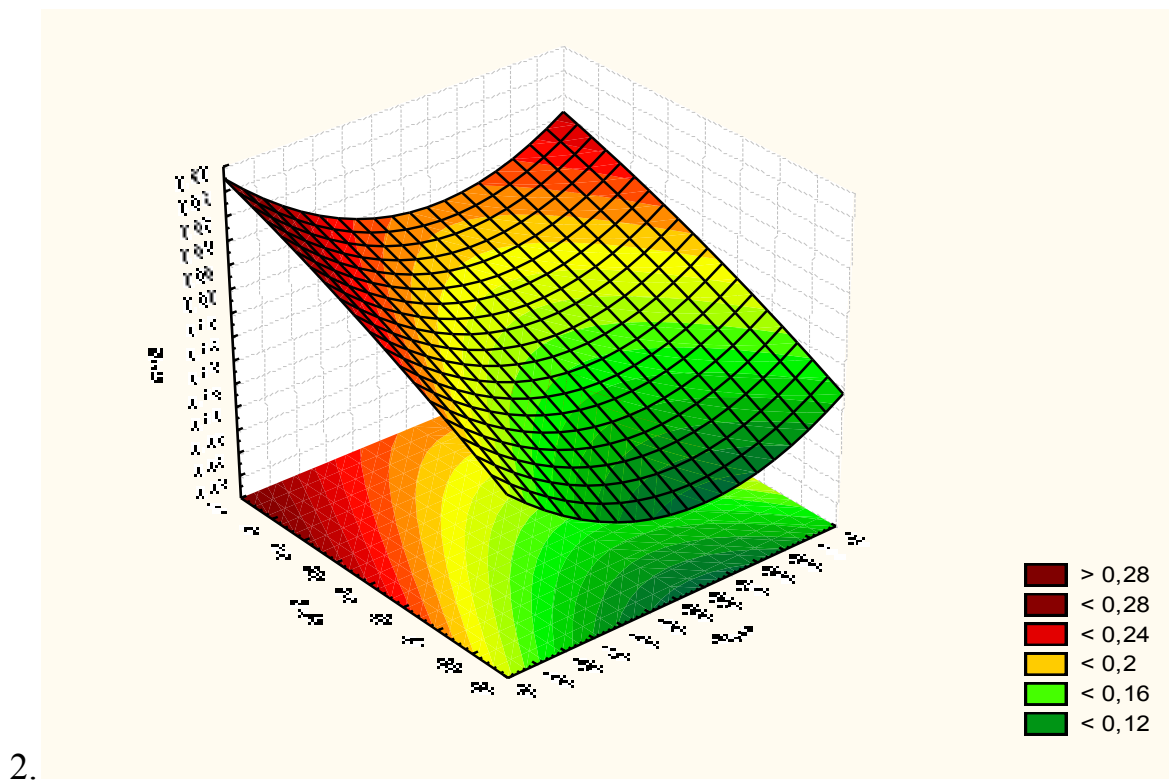
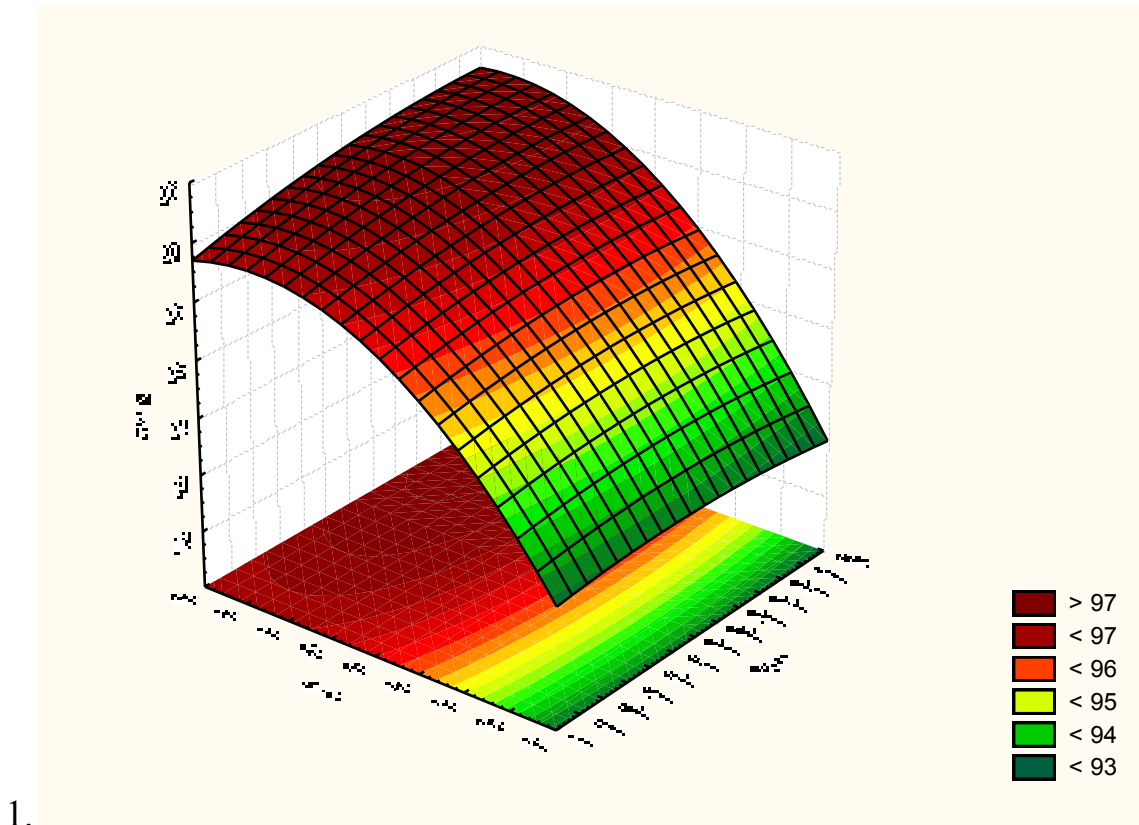


Рисунок К.5 – Графическое отражение влияния частоты вращения и эксцентриситета на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2) , при $s=75$ мм

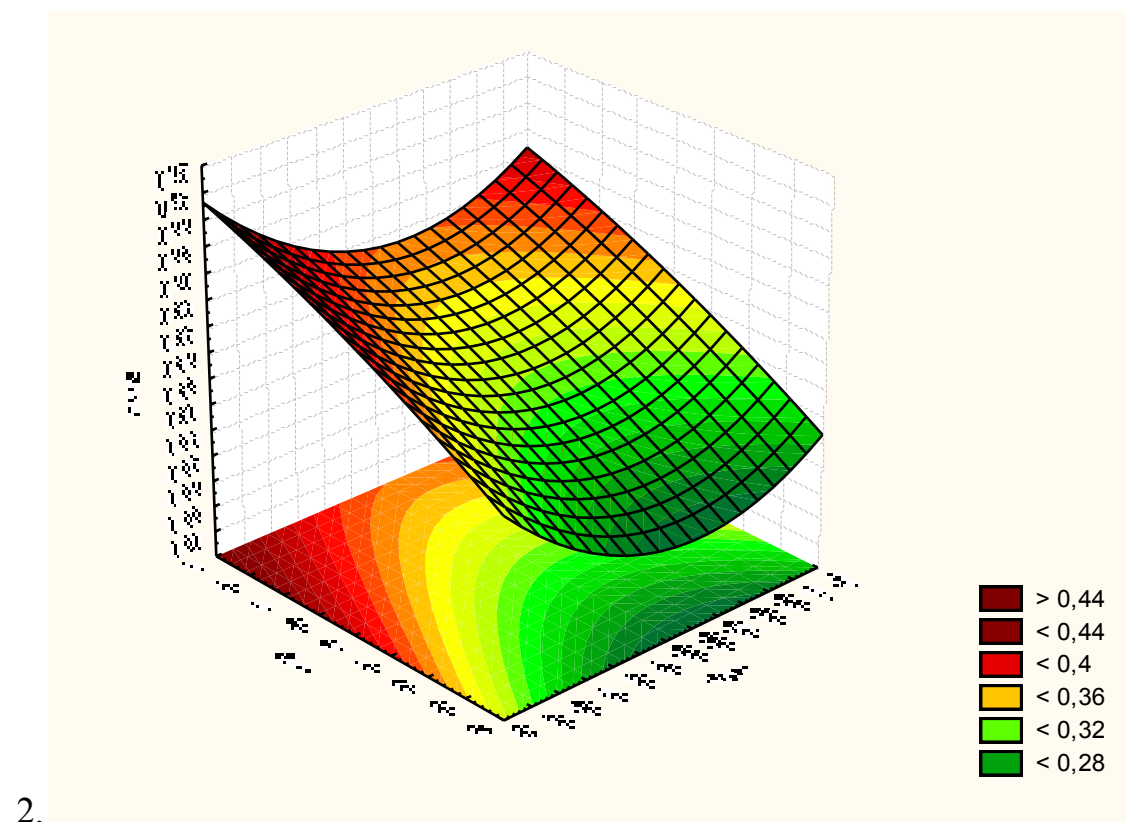
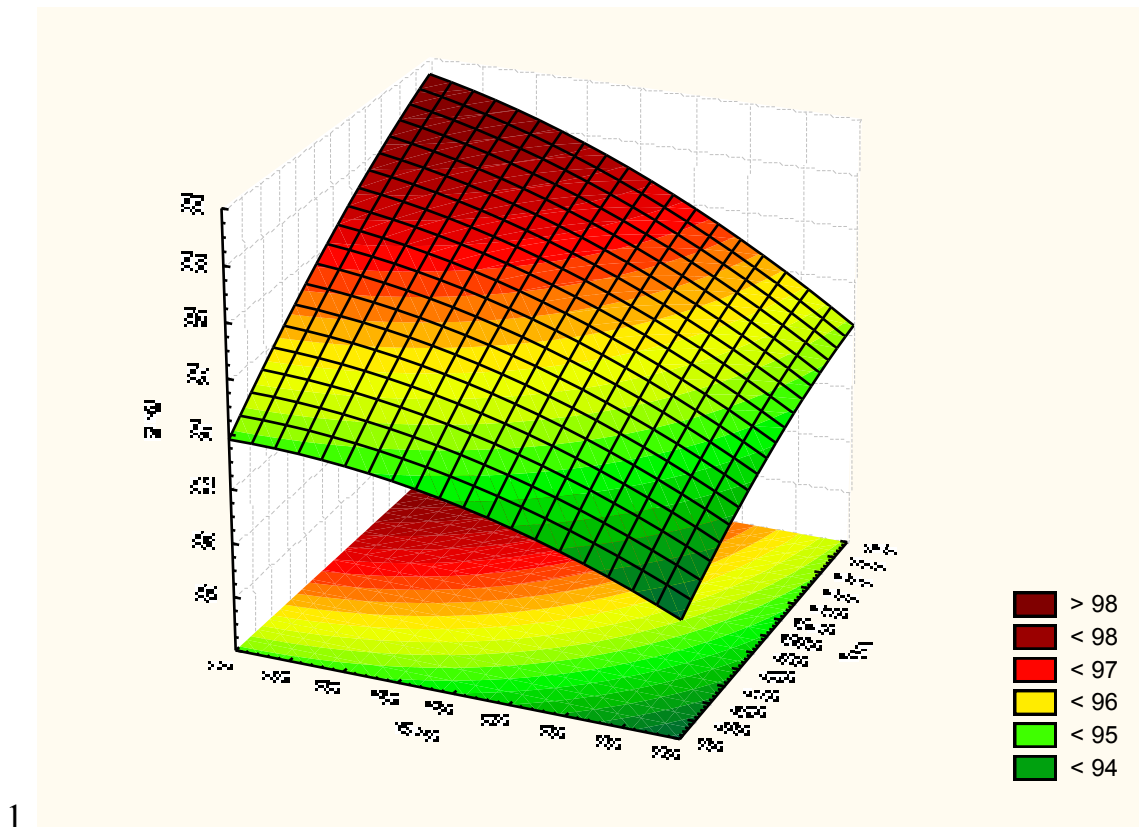


Рисунок К.6 – Графическое отражение влияния частоты вращения и эксцентриситета на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), при $s=55$ мм

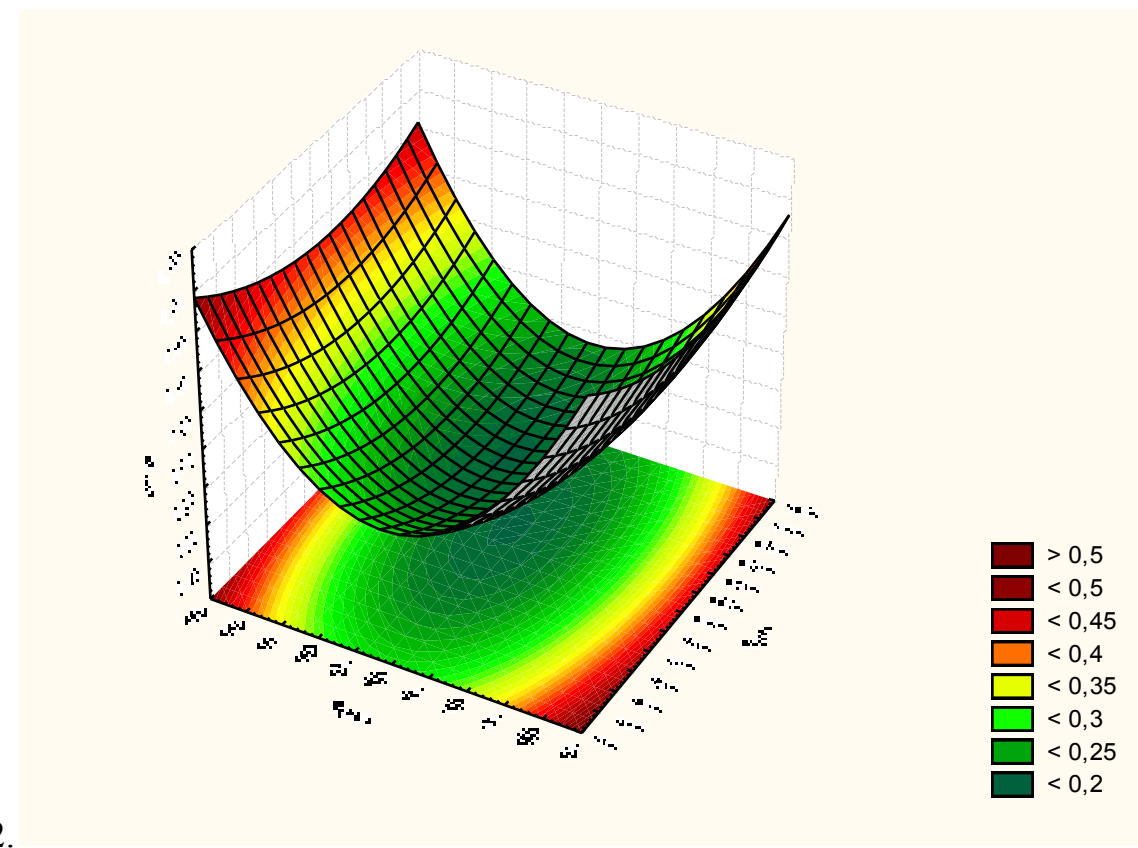
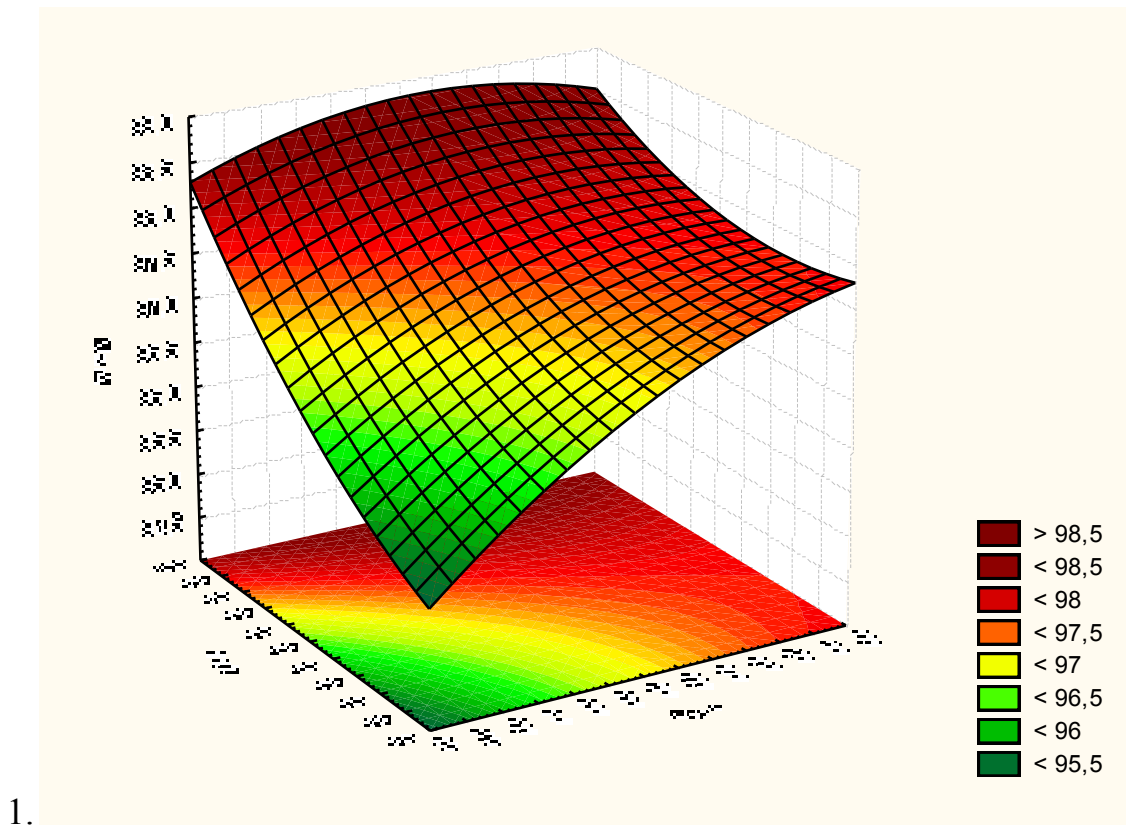


Рисунок К.7 – Графическое отражение влияния частоты вращения и шага спирали на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), при $k=85$ мм.

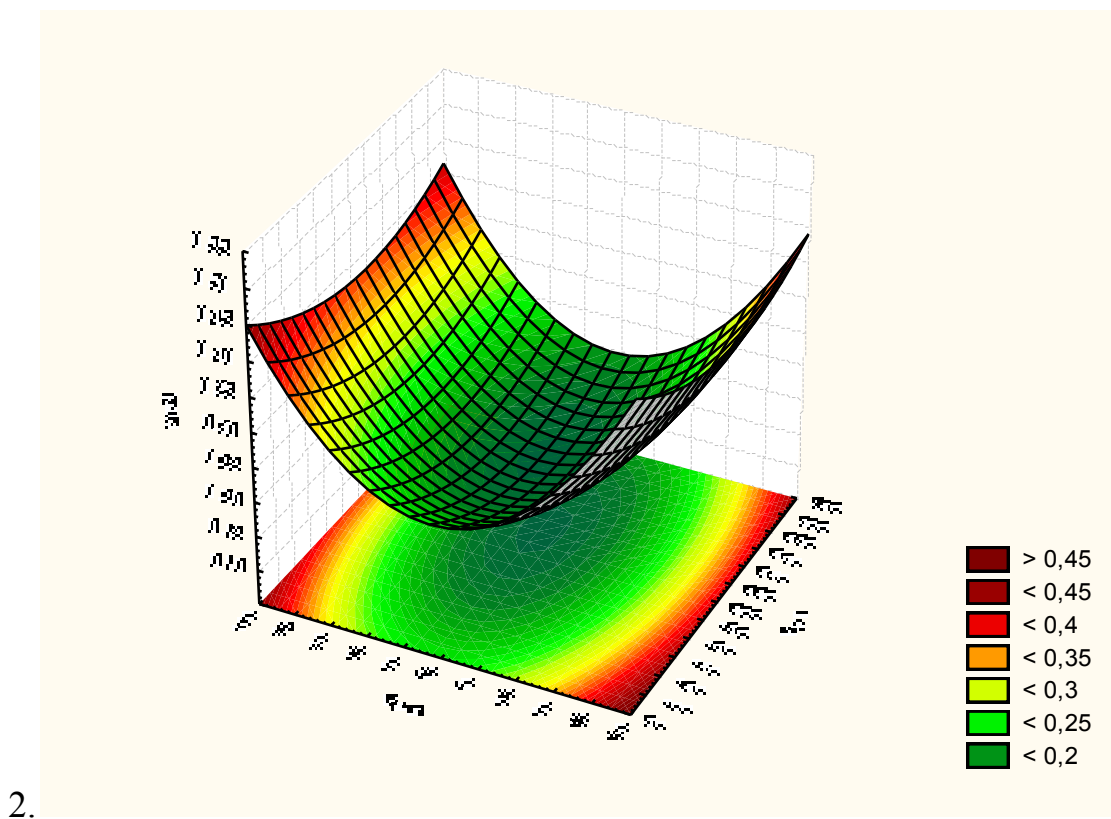
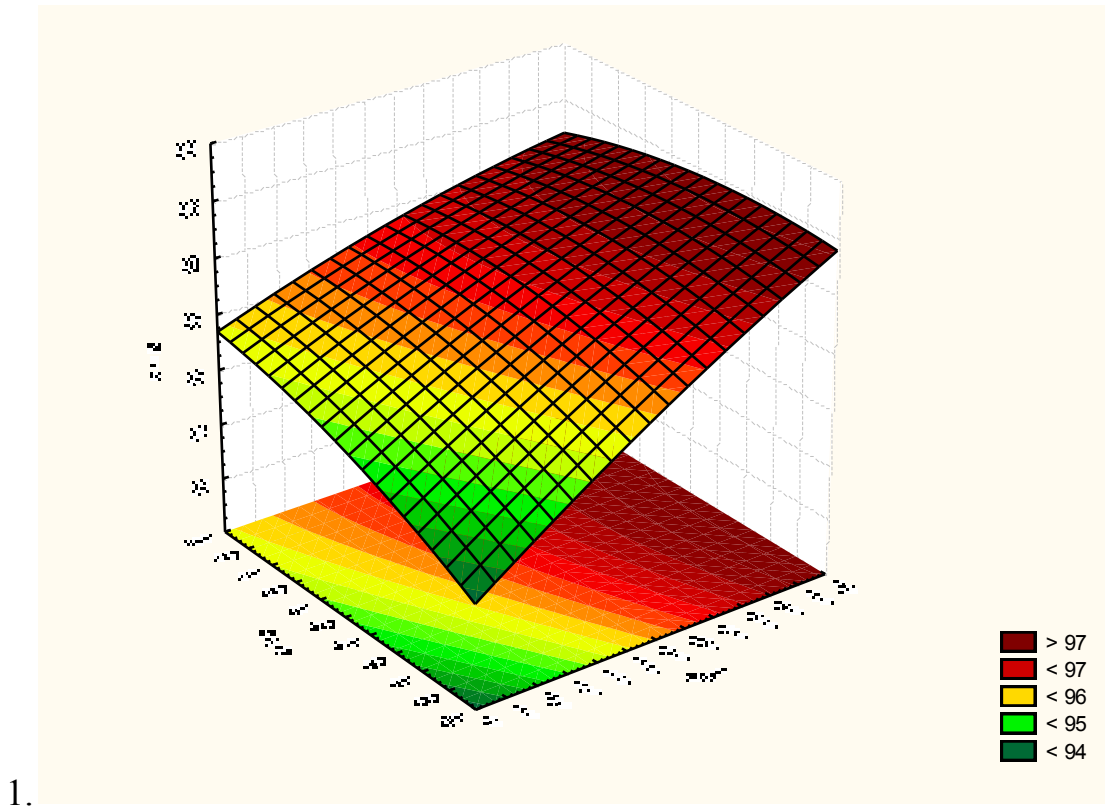


Рисунок К.8 – Графическое отражение влияния частоты вращения и шага спирали на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), при $k = 70$ мм.

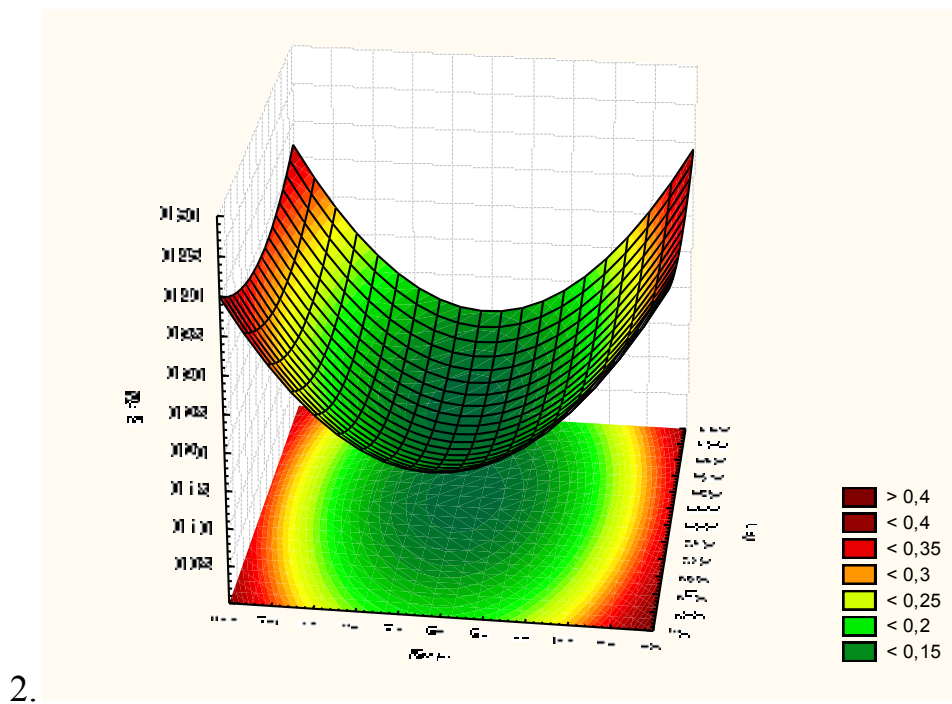
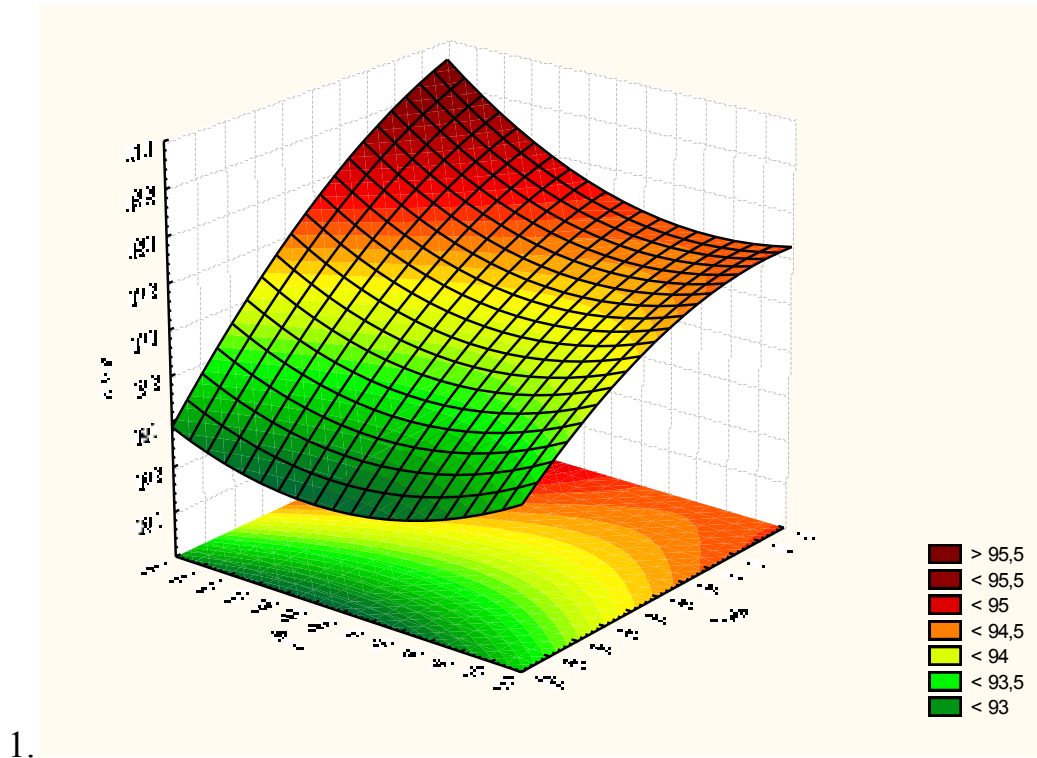


Рисунок К.9 – Графическое отражение влияния частоты вращения и шага спирали на степень однородности СКК (1) и удельный расход энергии (2), при $k = 55$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

(обязательное)

Приложение № 4

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ОАО «Ибрелькрахмалшатока»

В.И. Носов

«15» декабря 2003 г.

Акт

производственных испытаний по нейтрализации уваренного кукурузного экстракта и получение сырого глютенowego кормового продукта.

Комиссия в составе: начальника производства Фетисова П.П., и.о. главного технолога Карпухиной О.В., начальника ЦЗЛ Калмыковой Н.М., технолога цеха сырого крахмала Красильниковой Н.В., инженера-технолога ТО Разуваевой В.Я. с одной стороны и представителя Рязанской государственной с/х академии им. Костычева к.т.н. В.В. Утолина с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 26 октября по 20 ноября в цехе сырого крахмала проводились промышленные испытания по нейтрализации уваренного экстракта и получению сырого глютенowego кормового продукта. Для испытания использовался существующий сборник-накопитель для сбора экстракта оснащенный мешальным механизмом.

В сборник накопитель с вакуум-аппарата был подан уваренный экстракт с СВ -41%. После замера и расчета товарный вес его составил -3,8 т.

На основании «Технологической инструкции по нейтрализации уваренного экстракта» был произведен расчет количества реагентов из расчета:

CaO известь строительная - 20 кг/т

NaOH гидроксид натрия - 10 кг/т.

Было произведено гашение чистой водой извести строительной взятой на все количество экстракта, согласно разработанных нормативов.

Гашение извести производилось в отдельной емкости (бочке на 300 л.) с добавлением 3-х кратного количества воды, т.е. на 76 кг. CaO взято воды 245 литров. Все количество известкового молока 30% концентрации было подано вручную ведрами, в сборник с экстрактом при вращающемся мешальном механизме.

Известковое молоко вливалось в экстракт тонкой струей с ведра и далее контактировало с экстрактом в сборнике -30 минут. После истечения данного времени лабораторией был проверен pH, который составил -5,0. Затем в сборник подано расчетное количество гидроксида натрия -34 кг. Контактна экстракта с гидроксидом натрия была выдержана в течение 40 минут. Конечный pH экстракта составил 6,1. Согласно рекомендациям с/х академии г. Рязани pH экстракта необходимо доводит до 6-6,5, а не pH-7,0, так как слабощелочные корма лучше поедаются животными и лучше хранятся.

Органолептически нейтрализованный экстракт представлял собой светло-бурую массу с хлебным запахом и соленую на вкус. Соленый вкус образуется из-за получения соли лактата натрия. Нейтрализованный экстракт подавался в меню, сходную со шнек-прессов с

СВ-33,5% из расчета на 1 тн. мезги -166 кг. Это соответствует соотношению 1 : 6,4 (мезга) согласно рекомендации соисполнителя.

После смешения двух компонентов сырой корм был отобран из машины хозяйства СПК «Мурминский». Количество взятого корма составило 4 тн. После отбора пробы на анализ были получены следующие данные сырого корма:

- рН-5,8
- кислотность корма 5,8°Н (Неймана)
- СВ -34,4 %


Поступившая информация от СПК «Мурминский» подтвердила, что корм опытной партии животными поедался охотно, в кормушках корм не остался. Все животные в нормальном состоянии, качество молока не изменилось.

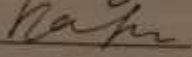
При производственных испытаниях можно отметить: что количество реагентов для нейтрализации экстракта снижается (от ранее предложенных соисполнителем нормативов, которые были рассчитаны на СВ 36%) при увеличении сухих веществ экстракта. Это относится к реагенту СаО.

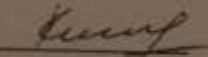
Перечень мероприятий

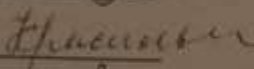
1. Установить дополнительно сборник-накопитель для экстракта для проведения правильного и точного процесса нейтрализации экстракта.
2. Для отделения комочков недогасившейся извести и твердых примесей присутствующих в известковом молоке, установить фильтр в виде мешка из капроновой сетки № 13.
3. Оснастить рабочее место напольными весами с пределом измерения до 100 кг.
4. Подвести чистую воду к сборнику известкового молока.

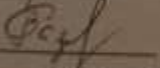
Подписи:

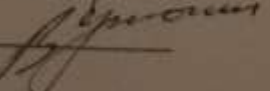
Фетисов П.П. 

Карпухина О.В. 

Калмыкова Н.М. 

Красильникова Н.В. 

Разуваева В.Я. 

к.т.в. Утолин В.В. 

ПРИЛОЖЕНИЕ М

(обязательное)

«Утверждаю»

Ректор ФГОУ ВПО РГАТУ

имени П.А.Костычева


 Г.М. Туников

« » _____ 2010г.



«Утверждаю»

Заместитель гл. инженера

по новой технике и НИР

ОАО «Ибредькрахмалпатока»



 Сидорин Д.А.

« » _____ 2010 г

АКТ

Мы нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева доцент Утолин В.В., аспирант Коньков М.А. с одной стороны и начальник кукурузоперерабатывающего цеха Гавриков М.А., начальник лаборатории Гришаева Т.В. ОАО «Ибредькрахмалпатока» с другой стороны, составили настоящий акт внедрения в производство ОАО «Ибредькрахмалпатока» технологии приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства. Внедрено в производство с 26 октября 2003года.

Для более эффективного использования побочных продуктов крахмалопаточного производства сотрудниками Рязанского ГАТУ доцентом Утолиным В.В., доцентом Подобуевым Г.А., аспирантом Коньковым М.А. была разработана технология приготовления сырого корма путём смешивания мезги и сгущенного кукурузного экстракта с предварительной нейтрализацией его кислотности (Патент РФ №2336722).

Технологическая линия для приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства включает следующее оборудование: реактор - нейтрализатор кислотности сгущенного экстракта, насос – дозатор водного раствора гидроксида кальция, машина для

приготовления водного раствора гидроксида кальция; ёмкость дозатор гидроксида натрия; смеситель непрерывного действия; насос – дозатор нейтрализованного сгущенного экстракта; бункер – дозатор мезги; бункер – накопитель готового сырого корма.

Технология приготовления сырого корма осуществляется следующим образом. Реактор - нейтрализатор заполняют сгущенным экстрактом с показателем кислотности рН – 4,2. Далее подают водный раствор гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), при перемешивании массы насосом – дозатором, до достижения кислотности рН – 5,0...5.2. Затем в частично нейтрализованный экстракт подаётся гидроксид натрия (NaOH) до достижения кислотности рН – 5,9...6,5. После нейтрализации сгущенный кукурузный экстракт подаётся в смеситель, где смешивается с отжатой мезгой. Из смесителя сырой корм поступает в бункер – накопитель, откуда выгружается на реализацию.

Состав сырого корма приготовленного из побочных продуктов крахмалопаточного производства представлен в таблице.

Таблица. Состав сырого корма.

Наименование	Влажность, %	рН	Питательность 1кг сухого корма КЕ, кг
Сырой корм	65...70	6,0...6,5	1,15

В результате использования разработанной технологии приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства было установлено что, для нейтрализации кислотности сгущенного экстракта его необходимо нагревать с целью уменьшения вязкости. На нагревание сгущенного кукурузного экстракта затрачивается большое количество энергии.

В период с 1 января 2006 года по 31 декабря 2009 года по данной технологии было приготовлено 94021,740 тонн сырого корма, который был реализован сельскохозяйственным предприятиям Московской, Рязанской и Владимирской областей: МУПС «Ибрёдское», 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 «Новый путь», ООО «Рассвет», ЗАО «Малино», ООО «Агроиппекс», ООО «Сельхозпродукты», ЗАО «ВМК – Астапово», СПК «Дмитревы горы», СПК «Илькино», ООО «Бельки».

Нареканий на качество приготовленного сырого корма от выше перечисленных хозяйств не поступало.

Применение сырого корма при скармливании коровам позволяет сократить расход концентрированных кормов на 33% с одновременным увеличением жирности молока на 5,5%.

Доцент кафедры

«Механизация животноводства»



Утолин В.В.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»



Коньков М.А.

Начальник кукурузоперерабатывающего
цеха ОАО «Ибрёдкрахмалпатока»



Гавриков М.А.,

Начальник лаборатории

ОАО «Ибрёдкрахмалпатока»



Гришаева Т.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

(обязательное)

«Утверждаю»
 Ректор ФГОУ ВПО РГАТУ
 им. П.А. Костычева
 _____ Н.В. Бышов
 « 14 » 2010 г. 2011 год.



АКТ

Настоящий акт составили представители организации-разработчика Рязанского государственного агротехнологического университета имени Костычева П.А. Утолин В.В. и предприятия-изготовителя директор Иванков Д.И. в том, что передали изготовителю ЗАО «Газтехпром» разработанную техническую документацию (авторы Утолин В.В. и Коньков М.А.) на нейтрализатор сгущенного кукурузного экстракта.

На основании технической документации, по заказу ОАО «Ибретькрахмалпатока» (договор от 11 августа 2009 года) была изготовлена опытная партия нейтрализаторов сгущенного кукурузного экстракта в количестве 2 (двух) штук.

От предприятия-изготовителя:

ЗАО «Газтехпром»
 _____ Иванков Д.И.
 « 14 » 2010 г. 2010 год



От организации-разработчика:

_____ Утолин В.В.
 « 14 » 2010 г. 2010 год

ПРИЛОЖЕНИЕ П

(обязательное)

стр. 1 из 7

**ДОГОВОР № 012309
ПОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ**

г. Рязань 23 января 2009 г.

Поставщик: ЗАО «Газтехпром» в лице генерального директора Иванкова Д.И., действующего на основании устава, с одной стороны, и Покупатель: ОАО «Ибреснякрахмалпатока» в лице директора Конькова М.А., действующего на основании Устава, с другой стороны, заключили настоящий Договор о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА.

1.1. Поставщик обязуется изготовить и передать в собственность Покупателя оборудование согласно Приложению №1.

1.2. Покупатель обязуется принять и оплатить за оборудование сумму в размере, установленном настоящим договором.

1.3. Срок готовности оборудования к отгрузке – 35 рабочих дней со дня поступления авансового платежа на расчетный счет Поставщика.

2. ЦЕНА (СТОИМОСТЬ) ОБОРУДОВАНИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЕТОВ.

2.1. Цена (стоимость) оборудования составляет 315 060 (триста пятнадцать тысяч шестьдесят) рублей, в том числе НДС 18% - 48 060 (сорок восемь тысяч шестьдесят) рублей, договорная цена действительна только для настоящего договора и не может служить прецедентом в дальнейшем. Цена оборудования фиксирована на весь срок действия договора и может быть изменена Поставщиком в случае невыполнения Покупателем условий пп. 2.2 а настоящего договора.

2.2. Перечисление денежных средств в уплату за оборудование осуществляется Покупателем на расчетный счет Поставщика в следующем порядке:

- перечисление авансового платежа в размере 60 (Шестидесяти) процентов от договорной цены оборудования в течение 5 (Пяти) дней с момента подписания Сторонами договора.
- перечисление окончательного платежа в размере 40 (Сорока) процентов от договорной цены оборудования товара в течение 5 (Пяти) дней после получения Покупателем уведомления от Поставщика в письменной форме, по факсимильной связи, о готовности оборудования к передаче Покупателю.

3. ПРИЕМКА ОБОРУДОВАНИЯ.

3.1. Отгрузка оборудования осуществляется из п. Лесной, Шиловского р-на, Рязанской области на условиях самовывоза (EX-WORKS по «Инкотермс-2000») после поступления всей суммы оплаты на расчетный счет Поставщика. При получении оборудования Покупатель осуществляет приемку оборудования по количеству и внешнему виду. Отгрузка оборудования подтверждается подписанием накладных полномочными представителями сторон. Право собственности на оборудование переходит к Покупателю в момент передачи оборудования Покупателю и подписания сторонами товаросопроводительных документов. Риск случайной гибели несет собственник оборудования в соответствии с действующим гражданским законодательством РФ. Оборудование сопровождается надлежащим образом оформленными товаросопроводительными документами, наличие которых определяется действующим законодательством РФ в отношении поставляемого вида оборудования.

3.2. Приемка Оборудования по количеству и качеству производится в соответствии с Инструкциями о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления П-6 и П-7, утвержденными Постановлениями Госарбитра от 15.06.1965 г. и 25.04.1966 г., действующим в части, не противоречащей условиям настоящего договора.

3.3. Гарантийный срок на поставленное оборудование составляет 12 месяцев с даты установки, но не более 18 месяцев с даты отгрузки оборудования.


3.4. Если в течение гарантийного срока выявляются дефекты, неисправности, недостатки отдельных частей оборудования или оборудования в целом, при условии их нормальной эксплуатации Покупателем, Покупатель направляет Поставщику уведомление об обнаруженных недостатках. В течение 5 рабочих дней с момента получения уведомления представитель Поставщика должен прибыть на место установки оборудования. Стороны составляют рекламационный акт с указанием даты обнаружения дефекта и сроков и способов его устранения. При невозможности прибытия представителя Поставщика в указанный срок акт составляется Покупателем по согласованию с Поставщиком посредством обмена факсимильных, телефонных сообщений, электронной почты и иных доступных средств коммуникаций. В случае немотивированного отказа Поставщика от подписания рекламационного акта, акт оформляется и подписывается Покупателем.

3.5. В течение 3 (трех) рабочих дней после устранения дефекта или неисправности Стороны составляют Акт приемки-сдачи работ по устранению дефектов или неисправностей с обязательным указанием фактической даты устранения дефекта. Гарантия на исправное оборудование, продлевается соответственно на срок, равный периоду, прошедшему между датой обнаружения дефекта и фактической датой его устранения.

4. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН.

4.1. За невыполнение, или ненадлежащее выполнение обязательств по настоящему договору, стороны несут имущественную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

4.2. За просрочку поставки Поставщик обязан уплатить пеню в размере 0,05 % (пять сотых процента) от стоимости оборудования, поставка которого просрочена, за каждый день просрочки.



4.3. В случае нарушения сроков оплаты за оборудование, Покупатель обязан уплатить пени в размере 0,05% (нуль сотых процента) от неоплаченной суммы или суммы, оплаченной с нарушением срока оплаты, за каждый день просрочки.

4.4. Штрафные санкции, обусловленные пп.4.2, 4.3 настоящего договора, выплачиваются в случае письменного требования сторон.

5. ФОРС-МАЖОР

5.1. Стороны освобождаются от ответственности за частичное или полное неисполнение обязательств по договору, если неисполнение явилось следствием обстоятельств непреодолимой силы, возникших после заключения договора в результате обстоятельств чрезвычайного характера, которые сторона не могла предвидеть или предотвратить.

5.2. К обстоятельствам непреодолимой силы относятся, в частности, следующие события: землетрясение, наводнение, пожар, а также забастовка, военные действия любого характера, другие обстоятельства, налагающие вне разумного контроля сторон, препятствующие выполнению настоящего договора.

5.3. Сторона, столкнувшаяся на обстоятельства непреодолимой силы, обязана в течение 10 дней информировать другого участника о наступлении и окончании подобных обстоятельств в письменной форме. Сторона, столкнувшаяся на форс-мажорные обстоятельства, обязана представить для их подтверждения документ компетентного органа. Несвоевременное извещение о наступлении и окончании форс-мажорных обстоятельств лишает Сторону права ссылаться на них в будущем.

5.4. Если в связи с форс-мажорными обстоятельствами состояние невыполнения обязательств, вытекающих из договора, длится более двух месяцев, то каждая Сторона имеет право расторгнуть настоящий договор в одностороннем порядке, известив об этом другую сторону. В этом случае Стороны производят взаиморасчеты друг с другом.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. Все возникающие из договора споры и разногласия Стороны будут стремиться разрешить в ходе переговоров, а в случае не достижения согласия, стороны обращаются в Арбитражный суд по месту нахождения ответчика, с соблюдением претензионного порядка разрешения споров. Срок рассмотрения претензии-10 дней.

7. ПРОЧЕЕ УСЛОВИЯ

7.1. Настоящий договор вступает в действие с момента его подписания обеими Сторонами и действует до исполнения Сторонами своих обязательств по договору.

7.2. Настоящий договор, все приложения, дополнительные соглашения к настоящему договору, являющиеся его неотъемлемой частью, изменения, уведомления и заявки, направленные посредством факсимильной связи, либо электронной почты в удостоверенном виде (при условии, что они отправлены с адресов электронной почты (либо телефона) другой Стороны, имеют юридическую силу до момента обмена Сторонами оригиналами указанных документов.

Каждая сторона обязуется выслать в адрес другой стороны подписанные и скрепленные своей печатью оригиналы договорной документации, которыми Стороны обменялись посредством факсимильной связи или электронной почты в течение 3 (Трих) рабочих дней с даты осуществления вышеуказанного обмена.

7.3. В соответствии с п.2 ст. 160 ГК Российской Федерации настоящий договор, все приложения, дополнительные соглашения к настоящему договору, являющиеся его неотъемлемой частью, изменения, заявки, товарно-расходительные документы, счета-фактуры, подписанные с использованием факсимильного воспроизведения подписи должностного лица с помощью средств механического или иного копирования имеют полную юридическую силу.

7.4. Договор составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой Стороны.

7.5. Досрочное расторжение договора может иметь место по взаимному согласованию Сторон, а также в случаях, когда виновность одностороннего отказа одной из Сторон от исполнения договора презюмируется действующим законодательством или настоящим договором.

8. РЕКВИЗИТЫ СТОРОН

Поставщик: ЗАО «Гидротехно»
390021, г. Рязань, ул. Новая, 92
ИНН 6229026257, КПП 623401001
р/сч. 40702810400000001921
«Пром-Виндторбизнес (ОАО)» г. Рязань
кор.сч. 3010181050000000708
БИК 044124768
ОГРН 1026201084271

Покупатель: ОАО «Ибреевскаямашино»
391520, п/о Ибреев, Рязанская обл. Шоловский р-н,
ИНН 6225000709/622501001
р/сч. 40702810953220100063 в Рязанском
ОСБ 8606 «Рязань-ОСБ 2629» в Шолово
к/сч. 30101810500000000614
БИК 044126614
ОКПО 09343379



стр. 3 из 3

ПРИЛОЖЕНИЕ №1
к договору № 012309 от 23 января 2009 г.

Наименование	Кол-во	Цена с НДС руб.	Сумма с НДС в т.ч. руб.
Нейтрализатор (эвент заказчика)	1	315060-00	315060-00

ИТОГО

315060-00

в том числе НДС:

48600-00

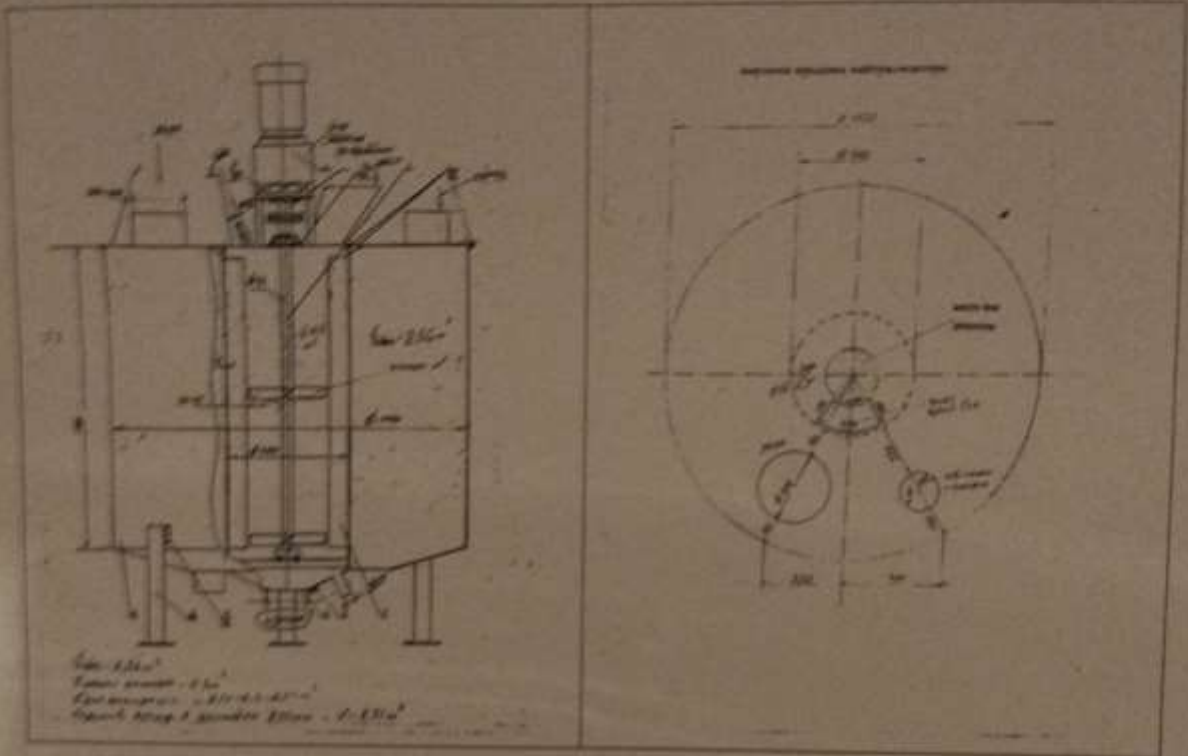
Поставщик: ООО «Газтехпром»



Покупатель: ОАО «Ибренькрахмалпатоха»



ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к договору № 012309 от 23 января 2009 г.



Поставщик: ЗАО "Газтехпром"

Покупатель: ОАО «Ибрехь-размалпатока»



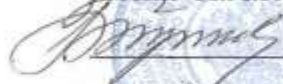
ПРИЛОЖЕНИЕ Р

(обязательное)

«Утверждаю»

Ректор ФГОУ ВПО РГАТУ

имени П.А.Костычева

 Г.М. Туников

«__» _____ 2010 г.



«Утверждаю»

Заместитель гл. инженера

по новой технике и НИР

ОАО «Ибретькрахмалпатока»

 Сидорин Д.А.

«__» _____ 2010 г.



АКТ

Мы нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры «Механизация животноводства» ФГОУ ВПО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева доцент Утолин В.В., аспиранты Коньков М.А., Полункин А.А., Счастлилова Н.В. с одной стороны и начальник кукурузоперерабатывающего цеха Гавриков М.А., начальник лаборатории Гришаева Т. В. ОАО «Ибретькрахмалпатока» с другой стороны составили настоящий акт внедрения в производство ОАО «Ибретькрахмалпатока» энергосберегающей технологии приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Для снижения себестоимости сырого корма приготовляемого из побочных продуктов крахмалопаточного производства сотрудниками кафедры «Механизация животноводства» Рязанского ГАТУ доцентом Утолиным В.В. аспирантами Коньковым М.А., Полункиным А.А. и Счастливой Н.В. была разработана энергосберегающая технология приготовления сырых кормов.

Которая включает следующее оборудование: реактор для нейтрализации кислотности сгущенного экстракта, внутри которого установлена ёмкость для приготовления водных растворов реагентов; бункеры – дозаторы реагентов (оксида кальция и гидроксида натрия); смеситель непрерывного действия; насос – дозатор; бункер – дозатор мезги; бункер – накопитель приготовленного сырого корма.

Приготовление сырого кукурузного корма осуществляется следующим образом. Реактор заполняют сгущенным кукурузным экстрактом. В ёмкость для приготовления реагентов заливают воду, затем при постоянном перемешивании подают оксид кальция, и добавляют гидроксид натрия. В результате химической реакции, взаимодействия оксида кальция и гидроксида натрия с водой выделяется теплота, за счёт которой, сгущенный кукурузный экстракт нагревается и его вязкость уменьшается. После нагревания сгущенного кукурузного экстракта его смешивают с раствором реагентов. Водный раствор гидроксида кальция и гидроксида натрия взаимодействует с молочной кислотой, находящейся в кукурузном сгущенном экстракте, при этом происходит нейтрализация кислотности до pH – 6,0...6,5. Затем сгущенный нейтрализованный кукурузный экстракт подаётся в смеситель, куда одновременно поступает мезга. После смешивания компонентов готовый сырой корм направляется в бункере на временное хранение. Данный корм предназначен для скармливания крупному рогатому скоту.

В период с 11 января 2010 года по 1 февраля 2010 года по данной технологии было приготовлено 1538,230 тонн сырого корма, который был реализован сельскохозяйственным предприятиям Московской, Рязанской и Владимирской областей: МУПС «Ибрёдское», 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 «Новый путь», ООО «Рассвет», ЗАО «Малино», ООО «Агроиппекс», ООО «Сельхозпродукты», ЗАО «ВМК – Астапово, СПК Дмитриевы горы, СПК «Илькино», ООО «Бельки».

Нареканий на качество сырого корма от хозяйств, которые используют его в рационе кормления сельскохозяйственных животных не поступало.

Доцент кафедры

«Механизация животноводства»

Утолин В.В.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»

Коньков М.А.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»

Полункин А.А.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»

Счастлилова Н.В.

Начальник кукурузоперерабатывающего
цеха ОАО «Ибрёдькрахмалпатока»

Гавриков М.А.,

Начальник лаборатории

ОАО «Ибрёдькрахмалпатока»

Гришаева Т.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(обязательное)

«Утверждаю»

Ректор ФГБОУ ВПО РГАУ

Н.В.Бышов

2011г.



«Утверждаю»

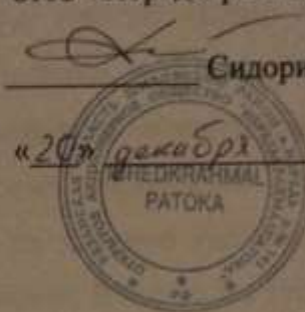
Заместитель гл. инженера

по новой технике и НИР

ОАО «Ибретькрахмалпатока»

Сидорин Д.А.

2011г.



АКТ

Мы нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры «Механизация животноводства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет» имени П.А. Костычева доцент Утолин В.В., аспиранты Полункин А.А., Гришков Е.Е. с одной стороны, начальник кукурузоперерабатывающего цеха Гаврилов М.А., начальник лаборатории Гришаева Т.В. ОАО «Ибретькрахмалпатока» с другой стороны, составили настоящий акт внедрения в производство ОАО «Ибретькрахмалпатока» энергосберегающего смесителя, размещённого в технологической линии приготовления кукурузных кормов.

Энергосберегающий смеситель разработан коллективом в составе доцента Утолина В.В. и аспирантов Полункина А.А. и Гришкова Е.Е., с целью повышения качества и снижения себестоимостиготавливаемого сырого

корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства (Патент РФ № 2454273).

Смеситель имеет следующую конструкцию. В корпусе установлен шнек – мешалка, состоящий из полого вала на котором, последовательно расположены винтовой конвейер и полые лопасти. Полюй вал установлен таким образом, что он совершает вращательные движения, передаваемые от привода и осевые возвратно поступательные, возникающие, вследствие целенаправленной неравномерности подачи компонентов. Для обеспечения неравномерности подачи компонентов на входной горловине установлен специальный дозатор неравномерной подачи. В торце, со стороны входной горловины смеситель снабжён камерой сгущенного кукурузного экстракта с мембраной, которая имеет опору для крепления вала шнека. Камера соединена с ёмкостью для временного хранения, сгущенного кукурузного экстракта трубопроводом с обратным клапаном. Энергоёмкость разработанного смесителя составляет 0,75 кВт/час.

За время производственных испытаний, в период с 14 ноября 2011г. по 15 декабря 2011г. с использованием разработанного смесителя было приготовлено 125 тонн сырого кукурузного корма, на основе мезги и сгущенного кукурузного экстракта.

В результате производственных испытаний смеситель подтвердил работоспособность. Нареканий по качеству смешивания корма и надёжности работы смесителя не было.

Сырой корм был реализован сельскохозяйственным предприятием Московской, Рязанской и Владимирской областей: МУПС «Ибресское», 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

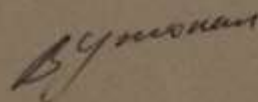
путь», ООО «Новая деревня», ООО «Рассвет», ЗАО «Малино», ООО «Агроиндекс», ООО «Сельхозпродукты», ЗАО «ВМК – Астапово», СПК «Дмитриевы горы», СПК «Илькино», ООО «Бельки».

Претензий по качеству приготовленного сырого корма со стороны потребителей не поступало.

Целесообразно предусмотреть более эффективную очистку рабочих органов смесителя.

Доцент кафедры

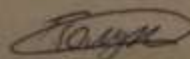
«Механизация животноводства»



Утолин В.В.

Аспирант кафедры

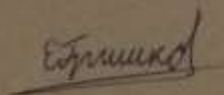
«Механизация животноводства»



Полункин А.А.

Аспирант кафедры

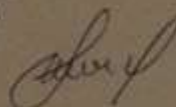
«Механизация животноводства»



Гришков Е.Е.

Начальник кукурузоперерабатывающего

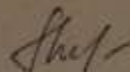
цеха ОАО «Ибренькрахмалпатока»



Гавриков М.А.

Начальник лаборатории

ОАО «Ибренькрахмалпатока»



Гришаева Т.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

(обязательное)

«Утверждаю»
 председатель СПК
 «Мурминский»

 В.А. Светиков
 «_____» _____ 2003 г.

АКТ

Мы нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры «Механизация животноводства» Рязанской ГСХА доцент Ульянов В.М., доцент Утолии В.В. и главный инженер ОАО «Ибредыкрахмалпатока» Коньков М.А. с одной стороны и главный зоотехник СПК «Мурминский» Серегин А.В. с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в период с 18 августа по 30 августа 2003 года на молочном комплексе СПК «Мурминский» проводились исследования на поедаемость и безвредность сырого корма приготовленного по технологии разработанной на кафедре «Механизации животноводства» Рязанской ГСХА.

Для более эффективного использования пробочных продуктов крахмалопаточного производства ОАО «Ибредыкрахмалпатока» сотрудниками кафедры «Механизации животноводства» Рязанской ГСХА, была разработана технология приготовления сырого корма с предварительной нейтрализацией кислотности уваренного кукурузного экстракта.

Разработанная технология приготовления сырого корма состоит из двух этапов. Первый этап – снижение кислотности экстракта (до pH 6,0... 6,5) путем добавления гидроксидов кальция и натрия. Второй этап – смешивание отжатой мезги крупной и мелкой с нейтрализованным уваренным кукурузным экстрактом. Нейтрализованный уваренный кукурузный экстракт смешивается с отжатой мезгой (мелкая + крупная) в соотношении 1 к 6,4 соответственно. Приготовленный корм имеет хлебный запах и солоноватый вкус. Состав корма представлен в таблице.

До периода испытаний в СПК «Мурминский» в рационе кормления дойных коров использовался сырой корм (отжатая мезга + уваренный экстракт). Содержание сухих веществ составляло 33... 34%. Уваренный экстракт имел pH 4,0... 4,4. Для частичной нейтрализации кислотности в рацион кормления включали комплексную минеральную добавку. Норма выдачи сырого корма на одну голову составляла 12 кг.

Таблица. – Состав сырого корма

Наименование корма	Массовая доля сухого вещества, %	Кислотность, мл	Питательность 1 кг сухого корма KE, кг
Сырой корм (мезга + нейтрализованный экстракт)	33...35	5,9	1,15

В период с 18 августа по 30 августа 2003 года в рацион кормления коров вводили сырой корм (12 кг на голову) приготовленный в ОАО «Ибретькрахмалпатока» по разработанной технологии, отжатая кукурузная мезга + нейтрализованный уваренный экстракт. Взамен сырого корма, отжатая мезга + уваренный экстракт, и комплексной минеральной добавки.

За период исследований было отмечено:

1. Животные охотно поедали корм. Остатков корма в кормушках не наблюдалось.
2. Время поедания нового корма по сравнению со старым значительно сократилось.
3. Качественные показатели молока не изменились.
4. За исследуемый период состояние здоровья животных не изменилось.

Доцент кафедры
механизации животноводства

 Ульянов В.М.

Доцент кафедры
механизации животноводства

 Утолин В.В.

Главный инженер
ОАО «Ибретькрахмалпатока»

 Коньков М.А.

Главный зоотехник
СПК «Мурминский»

 Серегин А.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ У

(обязательное)

Утверждаю
Ректор Рязанской ГСХА
Г.М. Туников
Г.М. Туников.
«25» октября 2003 г



Утверждаю
председатель СПК
«Мурминский»
В.А. Светиков
В.А. Светиков
«25» октября 2003 г



Акт

Мы, нижеподписавшиеся, сотрудники кафедры Рязанской ГСХА доцент Ульянов В.М., доцент Утолин В.В., главный инженер ОАО «Ибретькрахмалпатока» Коньков М.А. с одной стороны, и главный зоотехник СПК «Мурминский» Серёгин А.В. с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в период с 25 октября 2003 года по 25 декабря 2003 года на молочном комплексе СПК «Мурминский» проводились исследования по эффективности применения сырых кормов из отходов крахмалопаточного производства.

Для более полного использования побочных продуктов крахмалопаточного производства ОАО «Ибретькрахмалпатока» была разработана технология приготовления сырых кормов с предварительной нейтрализацией кислотности уваренного экстракта.

Технология производства сырых кормов состоит из двух этапов. Первый этап – снижение кислотности экстракта (до pH 6.0 – 6.5) путём добавления гидроксидов кальция и натрия. Второй этап – смешивание отжатой мезги, крупной и мелкой, с нейтрализованным уваренным экстрактом. Нейтрализованный уваренный экстракт смешивается с отжатой мезгой (мелкая + крупная) в соотношении 1 к 6,4 соответственно. Приготовленный корм имеет хлебный запах и солоноватый вкус. Состав сырого корма представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав сырого корма.

Наименование корма	Массовая доля сухого вещества, %	Кислотность, мг	Питательность 1 кг сухого корма КЕ, кг
Сырой корм (мезга + нейтрализованный экстракт)	33 ... 35	5.9	1.15

Для проведения исследования было отобрано две группы коров-аналогов, по 20 голов в каждой, средней массой 450 кг, находящихся в третьем – четвертом периоде лактации. Средний удой на одну корову в контрольной и опытной группах – 14 кг в сутки.

В рационе кормления коров опытной группы были использованы сырые корма, которые частично заменили концентрированные корма. Рацион кормления коров опытной и контрольной группы представлены в таблице 2.


Таблица 2 - Рацион кормления.

Вид корма.	Количество корма, кг.	
	Опытная группа.	Контрольная группа.
Сено	2.8	2.8
Солома	5.0	5.0
Сенаж	30.0	30.0-
Концентрированные корма	3.0	1.0
Жмых подсолнечный	2.0	-
Сырые корма	-	12.0

За период исследования было отмечено:

1. Средний удой в опытной группе – 14 кг/сут
2. Средний удой в контрольной группе – 14 кг/сут
3. Средняя жирность молока у коров опытной группы – 3.6 %.
4. Средняя жирность молока у коров контрольной группы – 3.4 %.

Доцент кафедры
«Механизации животноводства»

 Ульянов В.М.

Доцент кафедры
«Механизации животноводства»

 Утолин В.В.

Главный инженер ОАО
«Ибретькрахмалпатока»

Коньков М.А.

Главный зоотехник
СПК «Мурминское»

 Серёгин А.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

(обязательное)

**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
«ПРОВИЛАБ» ООО «ПРОВИМИ»**

115230, Москва, Рахмановский пр. 23
Телефон: (495) 224-80-07
Для справок: Деловой 117056, Москва.
Вершинский шоссе 12, этаж 2
Тел: (495) 937-25-82

**Протокол испытаний № 1187 - 1188
от 10.06.2013 года**

Заказчик: ОАО «Ибрехькрахмалпатока»
 Предъявитель образцов: ОАО «Ибрехькрахмалпатока»
 Наименование образца: 1187 – мезга+экстракт
 Количество образцов: 2
 Производитель образцов: --
 Маркировка: --
 Акт отбора проб: --
 Дата выработки: --
 Дата отбора/место отбора: --
 Дата поступления образца: 24.05.2013 г.
 Дата выполнения анализа: 10.06.2013 г.
 Исследования проводились по заявленным показателям

Результаты испытаний:

Наименование, ед. измерения	НД	Результаты
		1187
Массовая доля влаги, %	ГОСТ 13496.3	6,6 ± 0,4
Массовая доля сырого протеина, %	ГОСТ 13496.4	22,23 ± 0,39
Массовая доля сырого жира, %	ГОСТ 13496.15	2,34 ± 0,49
Массовая доля сырой клетчатки, %	ГОСТ Р 52839	8,5 ± 1,1
Массовая доля золы, %	ГОСТ 26226	6,4 ± 0,3
Массовая доля кальция, %	ГОСТ 26570	0,10 ± 0,04
Массовая доля фосфора, %	ГОСТ 26657	0,80 ± 0,14
Массовая доля сахара, %	ГОСТ Р 51637	2,82 ± 0,78
Массовая доля крахмала, %		8,8 ± 1,4
Переваримость протеина с пепсином и панкреатином, %	3 часа	80,9
	24 часа	83,0
Массовая доля калия, %	ГОСТ Р 53887	1,75 ± 0,18
Массовая доля натрия, %		0,40 ± 0,04
Массовая доля хлоридов, %	ГОСТ Р 52181	0,30 ± 0,06
Массовая доля железа валового, мг/кг	ГОСТ Р 51637	162 ± 32
Массовая доля меди, мг/кг		7,8 ± 1,6
Массовая доля цинка, мг/кг		100 ± 20
Массовая доля марганца, мг/кг		22,3 ± 4,5
Массовая доля аспарагина, %	ГОСТ 13496.21	1,16 ± 0,12
Массовая доля треонина, %		0,81 ± 0,08
Массовая доля серина, %	ГОСТ 13496.22	0,89 ± 0,09
Массовая доля глутамина, %		3,21 ± 0,32

Протокол испытаний №1187-1188, стр. 2 из 2

Массовая доля пролина, %		$2,03 \pm 0,20$
Массовая доля глицина, %		$0,98 \pm 0,10$
Массовая доля аланина, %		$1,67 \pm 0,17$
Массовая доля валина, %		$1,08 \pm 0,11$
Массовая доля изолейцина, %		$0,59 \pm 0,06$
Массовая доля лейцина, %		$1,83 \pm 0,18$
Массовая доля тирозина, %		$0,47 \pm 0,05$
Массовая доля Фенилаланина, %		$0,92 \pm 0,09$
Массовая доля гистидина, %		$0,71 \pm 0,07$
Массовая доля лизина, %		$0,85 \pm 0,09$
Массовая доля аргинина, %		$0,84 \pm 0,08$
Массовая доля цистина, %		$0,46 \pm 0,05$
Массовая доля метионина, %		$0,37 \pm 0,04$
Массовая доля витамина Е, мг/кг	ГОСТ Р 52147	н/о

* В том числе железо металлическое и окисное – продукты износа перерабатываемого оборудования

Протокол касается только образца, подвергнутого испытанию.
Протокол не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ «Провилаб» ООО «Провими»

Начальник испытательной лаборатории
«ПРОВИЛАБ» ООО «Провими»



Т. А. Туркина



ПРИЛОЖЕНИЕ X

(обязательное)

Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВПО РГАТУ



Н.В. Бышов

2014г.

Утверждаю

Генеральный директор



ООО «Рассвет»

И.И. Спесивцев

2014г.

Акт

Мы, нижеподписавшиеся сотрудники кафедры Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» доцент Утолин В.В., аспирант Гришков Е.Е. с одной стороны, и заведующий животноводческой фермой ООО «Рассвет» Федоркин В.А. с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в период с 12 мая 2014 года по 12 июля 2014 года на животноводческой ферме ООО «Рассвет» проводились исследования по эффективности скармливания сухих кукурузных кормов.

Сухие кукурузные корма имеют следующий состав: мезга с экстрактом - 75%, дробленое зерно - 10 % и жмых - 15%.

Качественные показатели сухого кукурузного корма представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественные показатели сухого корма

№	Наименование	Показатели
1	Массовая доля влаги, %	11
2	Массовая доля сырой клетчатки в сухом веществе, %	11,3
3	Массовая доля сырого протеина в сухом веществе, %	17,2
4	Содержание крахмала, %	12,5
5	Сырой жир, %	4,1
6	Массовая доля золы в сухом веществе, %	3,0
7	Кормовые единицы	1,16
8	Обменная энергия, МДж	12,7

Сухие корма были приготовлены из побочных продуктов крахмалопаточного производства ОАО «Ибренькрахмалпатока» Рязанской области с использованием разработанного смесителя. Смеситель состоит из

корпуса, в котором установлены загрузочная и выгрузная горловины, механизм изменения подачи и рабочий орган. Он представляет собой спираль, закрепленную на двух цапфах, один из концов которой расположен эксцентрично относительно оси вращения. Привод рабочего органа осуществляется мотором-редуктором посредством цепной передачи. Корпус и мотор-редуктор закреплены на общей раме. На загрузочной горловине расположен накопительный бункер с заслонкой для изменения подачи материала. Накопительный бункер смесителя разделен на 3 части перегородками с возможностью их перестановки с целью изменения количества подаваемых компонентов. Техническая характеристика смесителя представлена в таблице 2.

Таблица 2 – техническая характеристика смесителя

№	Наименование	Единица измерения	Показатели
1	Установленная мощность электродвигателя	кВт	0,75
2	Частота вращения рабочего органа	с ⁻¹	3,8
3	Эксцентриситет рабочего органа	м	0,07
4	Шаг спирали	м	0,085
5	Производительность по: кукурузной мезге дробленому кукурузному зерну	кг/ч	1100 1600
6	Габаритные размеры, не более - длина - ширина - высота	м	1,45 0,65 1,8
7	Масса, не более	кг	95

Для проведения исследований было отобрано две группы бычков-аналогов породы «Лимузин», по 20 голов в каждой, в возрасте 6 месяцев средней массой 150±10 кг. При проведении опытов животные опытной и контрольной групп содержались беспривязно.

В рационе кормления бычков опытной группы были использованы сухие кукурузные корма, которые частично заменили концентрированные корма. Рацион кормления животных представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Рацион кормления

Вид корма	Количество корма, кг	
	Опытная группа	Контрольная группа
Сено	2,5	2,5
Минеральные добавки	0,1	0,1
Концентрированные корма	1	4
Сухие кукурузные корма	3	-
Сенаж	8	8

Опыт проводился в три периода:

1. Подготовительный – 15 дней;
2. Опытный – 31 день;
3. Заключительный – 15 дней.

Приготовление кормосмеси из используемых в хозяйстве компонентов осуществляли в мобильном кормораздатчике. Кратность кормления – 2 раза.

За период исследования было отмечено, что среднесуточный привес составил:

1. в опытной группе – 0,92 кг
2. в контрольной группе – 0,83 кг

За исследуемый период изменения состояния здоровья животных не обнаружено. Корма, в составе которых присутствовал сухой кукурузный корм, поедались полностью.

Доцент кафедры

«Механизация животноводства»

 Утолин В.В.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»

 Гришков Е.Е.

Заведующий животноводческой фермой

ООО «Рассвет»

 Федоркин В.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

(обязательное)

Утверждаю
Ректор ФГБОУ ВПО РГАТУ
Н.В. Бышов
«21» августа 2014г.



Утверждаю
инженер ООО «Амкор»
С.В. Машинистов
«21» августа 2014г.



Акт

производственных испытаний смесителя сухих кормов

Комиссия в составе: оператор линии гранулирования сухих кукурузных кормов ООО «Амкор» Костенко П.А. с одной стороны и сотрудники кафедры «Механизация животноводства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» доцент Утолин В.В., аспирант Гришков Е.Е. с другой стороны, составили настоящий акт внедрения в производство ООО «Амкор» Рязанской области смесителя сухих компонентов, который был установлен в технологической линии приготовления сухих гранулированных кукурузных кормов. Целью установки смесителя является расширение технологических возможностей за счет увеличения числа используемых компонентов в рецепте кормосмеси и повышение её однородности. Программа производственных испытаний предполагала проверку работоспособности, эксплуатационной надежности и определение качественных и количественных характеристик разработанного смесителя.

Смеситель разработан сотрудниками кафедры «Механизация животноводства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» доцентом Утолиным В.В. и аспирантом Гришковым Е.Е. (Патент РФ на изобретение № 2492776).

Смеситель состоит из корпуса, который снабжен загрузочной и выгрузной горловинами, рабочего органа и механизма изменения подачи. Рабочий орган представляет собой спираль диаметром 0,065 м, выполненную из проволоки круглого сечения $d=0,006$ м, закрепленную на двух цапфах, один из концов которой расположен эксцентрично относительно оси вращения. Привод рабочего органа осуществляется мотором-редуктором посредством цепной передачи. Корпус и мотор-редуктор закреплены на общей раме. На загрузочной горловине расположен бункер для изменения подачи материала, разделенный на 2 части перегородкой с возможностью её перестановки с целью изменения числа подаваемых компонентов в смеситель. Техническая характеристика смесителя представлена в таблице.

Таблица – Техническая характеристика смесителя

№	Наименование	Единица измерения	Показатели
1	Установленная мощность электродвигателя	кВт	0,75
2	Частота вращения рабочего органа	c^{-1}	5
3	Эксцентриситет рабочего органа	м	0,07
4	Шаг спирали	м	0,085
5	Производительность по: кукурузной мезге жмыху	кг/ч	1400 1800
6	Габаритные размеры, не более - длина - ширина - высота	м	1,45 0,65 1,8
7	Масса, не более	кг	95

Технологическая линия приготовления сухих гранулированных кормов работает следующим образом. Из силосов временного хранения компонентов по самотечным каналам кормовой материал попадает в бункер смесителя, из которого через щелевой дозатор в смесительную камеру, где происходит их интенсивное перемешивание. Полученная смесь шнековым транспортером

перемещается в накопительный бункер пресса-гранулятора и через увлажнитель смесь поступает в пресс-гранулятор. Полученные гранулы посредством ленточного транспортера выгружаются в колонну охлаждения, в которой происходит охлаждение и отсев не сгранулированного материала. Пылевидные фракции осаживаются в циклоне колонны охлаждения и вместе с крошкой выгружаются шнековым транспортером, а затем направляются на повторное гранулирование. После охлаждения полученный гранулированный корм перемещается на расфасовывание.

Запуск линии приготовления гранулированных кормов с использованием разработанного смесителя был осуществлен 29 июля 2014г. С 6 августа 2014 г. по 18 августа 2014 г. было приготовлено 68 тонн гранулированных кукурузных кормов.

Сухой гранулированный кукурузный корм опытной партии был реализован в ООО «Агрокапитал» Рязанского района. Нареканий по качеству приготовленного корма от потребителя не поступало.

В результате проведения производственных испытаний установлено:

1. Смеситель работоспособен.
2. Однородность полученной смеси, которую определяли методом отбора проб из бункера-накопителя, установленного перед прессом-гранулятором, составляла 95%.
3. Удельная энергоемкость процесса смешивания с использованием разработанного смесителя составляет 0,6 кВт*ч/т.
4. Разработанный смеситель обеспечивает производительность линии гранулирования от 1,0 до 1,5 т/ч.

Перечень мероприятий для устранения выявленных недостатков:

1. Необходимо установить на загрузочную горловину смесителя бункер-накопитель большего объема с целью увеличения числа используемых компонентов для гранулированного корма.

2. На входе в загрузочную горловину необходимо предусмотреть установку сепаратора ферромагнитных примесей.

Для выявления технико-экономической эффективности эксплуатационной надежности целесообразно осуществить выпуск опытной серии данной конструкции и провести более широкую апробацию.

Доцент кафедры

«Механизация животноводства»



Утолин В.В.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»



Гришков Е.Е.

Оператор ООО «Амкор»



Костенко П.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ш

(обязательное)

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В
РИЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ"
Испытательная лаборатория

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЛ80 до 28.02.2016 г. Юридический адрес: 390011, г. Рязань, Старобордуческий проезд, д. 5

Протокол испытаний № 2646 от 26.06.2014
№ образца 380318062014 Дата поступления образца 18 июня 2014 г.

Сопроводительный документ акт отбора образцов (проб) № 2820 от 18.06.2014 г.
Предъявитель ООО "Амкор"
Наименование продукции КОРМ КУКУРУЗНЫЙ СУХОЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ
Размер партии 50 кг
Дата изготовления 17.06.2014
Количество образца для испытаний: 3 кг
Испытания проведены с 18.06.2014 по 26.06.2014
На соответствие требованиям: Ветеринарно-санитарные правила

Результаты испытаний

Наименование показателя	ИД на методику испытаний	Показатель по ИД	Результат измерений	Погрешность измерений, %	Ед-ца измерения
1	2	3	4	5	6
Физико-химические показатели					
Массовая доля сухих веществ	ГОСТ Р 54951-2012		89	±0,3	%
Массовая доля сырой клетчатки	ГОСТ Р 52839-2007		9,7	±1,63	%
Массовая доля сырого протеина	ГОСТ 13496.4-93		15,80	±0,53	%
Массовая доля жира	ГОСТ 26226-95		3,3	±0,2	%
Токсичные элементы					
Свинец	ГОСТ Р 51301-99		0,27	±0,09	мг/кг
Ванний	ГОСТ Р 51301-99		0,049	±0,016	мг/кг
Мышьяк	ГОСТ 31628-2012		менее 0,03	-	мг/кг
Ртуть	МУ 5178-90		менее 0,005	-	мг/кг
Радионуклиды					
Цезий-137	МУК 2.6.1.1194-03	не более 200	1,65	±3,18	Бк/кг
Стронций-90	МУК 2.6.1.1194-03	не более 140	5,74	±9,02	Бк/кг
Пестициды					
Гексахлорциклопентан (альфа-изомер) - глины - изомеры)	МУ МЭ СССР, СБ.4.4-25.1976-1997		менее 0,002	-	мг/кг
ДДТ и его метаболиты	МУ МЭ СССР, СБ.4.4-25.1976-1997	не более 0,03	менее 0,004	-	мг/кг
2,4-Д кислоты, их соли, эфиры	МУ МЭ СССР, СБ.4.4-25.1976-1997	не допускаются	не обнаружено	-	мг/кг
Ртуторганические пестициды	МУ МЭ СССР, СБ.4.4-25.1976-1997	не допускаются	не обнаружено	-	мг/кг
Антибиотикостатны					
Афлатоксины В-1	ГОСТ 30711-2001		менее 0,003	-	мг/кг
Зернокарина	МУ 5177-90		менее 0,03	-	мг/кг
Т-2 токсин	МУ 3184-84		менее 0,03	-	мг/кг
Дезоксиниваленол	ГОСТ Р 51116-97	не более 1,0	менее 0,2	-	мг/кг
Патулин	ГОСТ 38038-89		менее 0,1	-	мг/кг

1	2	3	4	5	6
Микробиологические показатели					
Патогенная микрофлора	ГОСТ Р 52814-2007	н/д в 50 г.	не обнаружено	-	
Патриды	ГОСТ 13496.19-93	не более 500	20,0	±5,2	мг/кг

Примечание: Настоящий протокол не может быть полностью или частично перенесен без разрешения ИЛ и распространяется только на образцы, представленные на испытаниях.

Результаты исследований утверждаю:
начальник Испытательной лаборатории
Ответственный за оформление протокола:
Исполнители: В.М. Ситова, С.Ю. Нагайцева, М.Н. Морозова, И.В. Сидельникова

Т.А. Кезинафротова
С.В. Сидина

Российская Федерация
Государственная инспекция по ветеринарии
Рязанской области
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
«РЯЗАНСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ВЕТЕРИНАРНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ»
ОГРН 1026201109505

390047, Новоселковская ул., 5 д., Рязань г.
тел./факс. (4912) 289-165 / 777-920

«25» сентября 2014 г.
№ 3474

Кому: ООО «АМКОР»

Адрес: Рязанская обл., Шиловский р-н, р.п.
Шилово, ул. Советская 24

РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЭКСПЕРТИЗЕ № 2013 _____

При исследовании Проба корма кукурузного сухого гранулированного
доставленного " 18 " июня 20 14 г.
принадлежащей: ООО «АМКОР»

получен следующий результат: при химико-токсикологическом исследовании
доставленной пробы поставлена биопроба на кролике по ГОСТ 52337-05 – при двукратном
нанесении доставленной пробы на кожу кролика воспалительной реакции не наблюдалось.
Доставленная проба по биопробе нетоксична.



Директор
лаборатории

ЭКСПЕРТИЗ

[Handwritten signature]

Зав. отделом

Ветврач

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

(обязательное)

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ							
	СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ						
№ РОСС RU.АЯ39.Н02387	Срок действия с 27.06.2014 по 26.06.2017 № 1676183						
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ рег. № РОСС RU 0001.11.АЯ39 ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ И МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА" (ОС ПРОДУКЦИИ ПИЩЕВОЙ, ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ). Российская Федерация, 390000, г.Рязань, ул.Новоселовских, д.9. Телефон (4912) 44 18 48, факс (4912)27-36-67, адрес электронной почты alogcsm@mail.ryazan.ru.							
ПРОДУКЦИЯ КОРМ КУКУРУЗНЫЙ СУХОЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ. ТУ 9189-001-26691792-2014. Серийный выпуск.							
	код ОК 005 (ОКП): 91 8961						
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ МДУ содержания некоторых химических элементов (утв.ГУВ Госагропрома СССР № 123-4/281-7 от 07.08.87); ПДКОК пестицидов в кормах для с/х животных (утв. Главным госветинспектором СССР № 117-116 от 17.05.77); ДУ стронция-90, цезия-137(ВП 13.513/06-01) утв. Минсельхозом РФ 19.12.2000г; ПДК нитратов и нитритов в кормах с/х животных (утв.Гл. госветинспектором СССР 18.02.89); МДУ никотоксенов в кормах для с/х животных, утв. ГУВ Минсельхоза СССР № 434-7 от 01.02.89; Правил бакисследования кормов (утв. ГУВ Минсельхоза СССР 10.06.75)							
	код ТН ВЭД России:						
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "АМКОР" (ООО "АМКОР"). Юридический адрес: ул.Советская 24, р.п.Шилово, Шилловский р-он, Рязанская обл., 391520. Фактический адрес: ул.Советская 24, р.п.Шилово, Шилловский р-он, Рязанская обл. ИНН 6225010182.							
СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "АМКОР" (ООО "АМКОР"). Юридический адрес: ул.Советская 24, р.п.Шилово, Шилловский р-он, Рязанская обл., 391520. Фактический адрес: ул.Советская 24, р.п.Шилово, Шилловский р-он, Рязанская обл. Телефон 8 (910) 645-19-85, адрес электронной почты 6451985@mail.ru. ИНН: 6225010182.							
НА ОСНОВАНИИ протокола испытаний № 2646 от 26.06.2014 ИЛ ФБУ "Рязанский ЦСМ", аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЛ80 от 19.08.2013 до 28.02.2016, адрес: Россия, 390011, г. Рязань, Старообрядческий проезд, д.5; экспертиза № 2013 от 18.06.2014 ГУ Рязанская областная ветеринарная лаборатория, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПМ51 до 06.12.2015, адрес: 390047, г.Рязань, ул. Новоселовская, д. 5							
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: 3.							
	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">Руководитель органа</td> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;">В.И.Строганов инициалы, фамилия</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Эксперт</td> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;">Беликова И.А. инициалы, фамилия</td> </tr> </table>	Руководитель органа		В.И.Строганов инициалы, фамилия	Эксперт		Беликова И.А. инициалы, фамилия
Руководитель органа		В.И.Строганов инициалы, фамилия					
Эксперт		Беликова И.А. инициалы, фамилия					
Сертификат не применяется при обязательной сертификации							

ПРИЛОЖЕНИЕ Э

(обязательное)

Утверждаю

Ректор ФГБОУ ВПО РГАТУ

Н.В. Бышов

«15 октября» 2014г.



Утверждаю

Исполнительный директор

ООО «АгроКапитал»

В.И. Ильенко

«15 октября» 2014г.



Акт

Мы, нижеподписавшиеся сотрудники кафедры Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» доцент Утолин В.В., аспирант Гришков Е.Е. с одной стороны, и главный зоотехник ООО «АгроКапитал» Рязанской области, канд. с.-х. наук Иванова Л.В. с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в период с 11 августа 2014 года по 9 октября 2014 года на животноводческой ферме ООО «АгроКапитал» проводились исследования по эффективности скармливания сухих гранулированных кукурузных кормов, производимых в ООО «Амкор» Рязанской области из побочных продуктов крахмалопаточного производства: смеси мезги с экстрактом и жмыха в соотношении 70% к 30%, производимых на технической линии с применением смесителя, разработанного сотрудниками кафедры «Механизация животноводства» ФГБОУ ВПО РГАТУ. Сухие гранулированные кукурузные корма приготавливали в соответствии с ТУ 9189-001-26691792-2014.

Качественные показатели сухого гранулированного кукурузного корма представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественные показатели сухого гранулированного корма

№	Наименование	Показатели
1	Массовая доля влаги, %	10,6
2	Массовая доля сырой клетчатки в сухом веществе, %	11,3
3	Массовая доля сырого протеина в сухом веществе, %	18,1
4	Содержание крахмала, %	8,8
5	Сырой жир, %	6,2
6	Массовая доля золы в сухом веществе, %	10,0
7	Кормовая ценность, КЕ/кг	1,16
8	Обменная энергия, МДж	12,7

Для проведения производственного опыта были отобраны две группы коров-аналогов Голштино-фризской породы, по 15 голов в каждой, находящихся в третьем – четвертом периодах лактации. Средняя масса животных 522 ± 20 кг. При проведении опытов коровы опытной и контрольной групп содержались беспривязно. Средний удой на одну голову в контрольной и опытной группах до проведения эксперимента составлял $19,2 \pm 0,2$ кг в сутки.

Коровам контрольной группы выдавался комбикорм производства ООО «Скопинский комбикормовый завод» в соответствии с существующим в ООО «АгроКапитал» рационом 8 кг/гол в сутки. В рационе кормления коров опытной группы были использованы сухие гранулированные кукурузные корма, которыми на 50% заменили комбинированные корма производства ООО «Скопинский комбикормовый завод». Таким образом, коровам опытной группы выдавалось 4 кг комбикорма и 4 кг сухого гранулированного кукурузного корма в сутки. Раздача сухих гранулированных кормов животным осуществлялось с помощью электронной системы кормления Feed-Rite доильной установки Dairymaster при доении коров, два раза в сутки.

Опыт проводился в три периода:

1. Подготовительный – 15 дней;
2. Опытный – 30 дней;
3. Заключительный – 15 дней.

При проведении исследований определяли средний удой, содержание жира и белка в молоке коров опытной и контрольной групп. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

№	Показатели	Опытная	Контрольная
1	Жир, %	3,87	3,85
2	Белок, %	3,21	3,22
3	Удой, кг/сут.	19,3	19,2

Как следует из таблицы 2, средний удой, жирность и содержание белка в молоке остались практически неизменны. За время проведения эксперимента нарушения состояния и здоровья животных в контрольной и

опытной группам не обнаружено. Концентрированные корма, в составе которых присутствовал сухой гранулированный кукурузный корм, поедались животными полностью.

Доцент кафедры

«Механизация животноводства»

Утолин В.В.

Аспирант кафедры

«Механизация животноводства»

Гришков Е.Е.

Главный зоотехник

ООО «АгроКапитал», канд. с.-х. наук

Иванова Л.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ю

(обязательное)



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КРАХМАЛОПРОДУКТОВ**

140051, Московская область, п. Красково-1, ул. Некрасова, 11
Тел: (495) 557-15-00 (495) 557-15-09
Факс: (495) 557-15-00 E-mail: arris@rol.ru

Исх. № 235/10
от 20.09.2010 г.

Справка

о принятии к использованию результатов экспериментально – теоретических исследований доцента Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Утолина Владимира Валентиновича

Дана доценту Утолину Владимиру Валентиновичу в том, что Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов Россельхозакадемии приняло к использованию в научно-производственной деятельности результаты экспериментально – теоретических исследований, полученные им при подготовке диссертации доктора технических наук по теме: «Технология и средства механизации приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства».

Результаты исследований автора будут использованы при подготовке методических пособий, проектировании и разработке технических средств, для приготовления кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Заместитель директора по научной работе
доктор технических наук



Н.Д. Лукин
Н.Д. Лукин

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ХОБОТОВСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

«КРАХМАЛОПРОДУКТ»

393723, Россия,
Тамбовская область,
Первомайский район
пос. Заводской

Телефон: (475 48) 69-3-00, 69-2-35, Факс 69-4-50, 69-2-18.
ИНН 6812000220,
КПП 681201001,
р/с 40702810661000101518 в Тамбовском отделении № 8594,
ПАО «Сбербанк», БИК 046850649,
к/с 30101810800000000649,
E-mail: kp1903@yandex.ru.

На № _____
всх. № 2431
от «10» декабря 2020 года

Справка

о принятии к использованию результатов экспериментально-теоретических исследований доцента федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Утолина Владимира Валентиновича

Дана настоящая доценту Утолину Владимиру Валентиновичу в том, что открытое акционерное общество ХОБОТОВСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «КРАХМАЛОПРОДУКТ» приняло результаты экспериментально-теоретических исследований, полученные им при подготовке диссертации доктора технических наук по проблеме «Совершенствование технологий и средств механизации приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства».

Результаты исследований перспективных разработок, обоснованных доцентом В.В. Утолиным, в частности технология и технические средства приготовления кормов сельскохозяйственным животным (патент РФ №2336722), нейтрализатор кислотности кукурузного экстракта (патент РФ №2396838), шнеко-лопастной смеситель кормов (патент РФ №2454273), будут использованы предприятием при совершенствовании технологии переработки побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Генеральный директор



Т.А. Стельмах



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ул. Есенина, 9, Рязань, 390006. Тел.: (4912) 97-17-07, факс: (4912) 21-06-69
e-mail: mshp@ryazagro.ru http://www.ryazagro.ru/
ОКПО 00073536, ОГРН 1026201267223, ИНН 6231005198

От 10.2020 № ЗМ/5-3823

На № _____ от _____

В федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

(ФГБОУ ВО РГАТУ),

доценту кафедры технических систем в АПК к.т.н., доценту В.В. Утолину

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области рассмотрело рекомендации по приготовлению кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства, разработанные в ФГБОУ ВО РГАТУ. Представленные рекомендации выполнены на основании научно-исследовательской работы, в том числе и по заказу Минсельхоза России в период с 2008 по 2020 года на тему «Технология и средства механизации приготовления кормов сельскохозяйственным животным».

В условиях реализации программы развития сельского хозяйства и улучшения экологической ситуации в регионе автором рекомендаций выбрана актуальная тема работы. Прогрессивные технологии переработки и использования побочных продуктов крахмалопаточного производства позволяют одновременно решать вопросы их утилизации и расширения кормовой базы животноводства. Это повышает не только эффективность перерабатывающих и животноводческих предприятий, но и продовольственную безопасность Российской Федерации в целом.

В соответствии с поставленной целью автору удалось решить следующие задачи:

- проанализировать побочные продукты крахмалопаточного производства и технологии, позволяющие использования их в качестве компонентов кормовой смеси для сельскохозяйственных животных;

- разработать новые технологии и технические средства для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства;

- теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-технологические параметры разработанных средств механизации и определить их рациональные параметры;

- внедрить разработанную технологию и средства механизации для приготовления кормов в производство.

На основе проведенных исследований представлены практические рекомендации по внедрению в производство научно-обоснованных технологий и технических решений для приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства.

Основные положения и результаты работы представляют значительный практический и научный интерес для агропромышленного комплекса, в том числе: способ приготовления сырого корма из побочных продуктов крахмалопаточного производства (патенты на изобретения РФ №№ 2336722, 2396838, 2422039), устройство для приготовления известкового молочка (патент на изобретение РФ № 2473292), комбикормовый агрегат (патент на изобретение РФ № 2454273), комбикормовый агрегат (патент на изобретение РФ № 2492776).

Разработанная технология приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства и технические средства для ее осуществления прошли производственные испытания и внедрены в ОАО «Ибретькрахмалпатока» Шиловского района Рязанской области. Сырой корм, приготовленный в результате производственных испытаний, был реализован сельскохозяйственным предприятиям Рязанской области.

Вышеуказанные технические и технологические решения рекомендуются к внедрению в хозяйствах и крахмалопаточных предприятиях АПК Российской Федерации, а также на заводах сельскохозяйственного машиностроения. Теоретические основы и результаты исследований по проблеме приготовления кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства рекомендуются к использованию научно-исследовательскими институтами, проектными организациями и конструкторскими бюро, а также к внедрению в учебном процессе образовательных учреждений, подведомственных Минсельхозу России.

Министр

Б.В. Шемякин



АКТ

**об использовании результатов научно-исследовательской работы
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева» в учебном процессе**

Мы, представители ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»: заведующий кафедрой технических систем в АПК, доктор технических наук, профессор Ульянов В.М.; кандидат технических наук, доцент Утолин В.В. с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»: заведующий кафедрой «Агроинженерия», кандидат технических наук, доцент Брусенков А.В.; кандидат технических наук, доцент Прохоров А.В., с другой стороны составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы Рязанского государственного агротехнологического университета по проблеме: «Совершенствование технологий и средств механизации приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства» (научный консультант доктор технических наук, профессор В.М. Ульянов, исполнитель кандидат технических наук, доцент В.В. Утолин) используются преподавателями института «Архитектуры, строительства и транспорта» при чтении лекций, в научно-исследовательской работе, а также студентами при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ по направлениям 35.03.06 Агроинженерия и 35.04.06 Агроинженерия.

Представители ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»:

д.т.н., проф. _____ В.М. Ульянов

к.т.н., доцент _____ В.В. Утолин

Представители ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»:

к.т.н., доцент.  А.В. Брусенков

к.т.н., доцент  А.В. Прохоров



УТВЕРЖДАЮ

 Ректор ФГБОУ ВО «Брянский
государственный аграрный университет»



Н.М. Белоус



2020 г.

АКТ

**об использовании результатов научно-исследовательской работы
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет» в
учебном процессе**

Мы, представители ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»: заведующий кафедрой технических систем в АПК, доктор технических наук, профессор Ульянов В.М.; кандидат технических наук, доцент Утолин В.В. с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»: директор инженерно-технологического института, доктор технических наук, доцент почетный работник науки и техники РФ Купресенко А.И.; заведующий кафедрой технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, кандидат экономических наук, доцент Исаев Х.М. другой стороны составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы Рязанского государственного агротехнологического университета по проблеме: «Совершенствование технологий и средств механизации приготовления кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства» (научный консультант доктор технических наук, профессор В.М. Ульянов, исполнитель кандидат технических наук, доцент В.В. Утолин) используются преподавателями инженерно-технологического института при чтении лекций, в научно-исследовательской работе, а также студентами при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ по направлениям подготовки 35.03.06 Агроинженерия и 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции.

Представители ФГБОУ ВО
«Рязанский государственный
агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»:
д.т.н., проф.  В.М. Ульянов
к.т.н., доцент  В.В. Утолин

Представители ФГБОУ ВО
«Брянский государственный аграрный
университет»:
д.т.н., доцент  А.И. Купресенко
к.э.н., доцент  Исаев Х.М.

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 4
от 20 декабря 2021 года
заседания Методического совета ФГБОУ ВО РГАТУ

Председатель Методического совета	- и.о. первого проректора	Борычев Сергей Николаевич
Заместитель председателя Методического совета	- начальник Методического отдела	Якунин Юрий Викторович
Секретарь Методического совета	- преподаватель кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита	Стишкова Елена Владимировна

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

декан факультета экономики и менеджмента, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент (Производственный менеджмент, Экономика и управление на предприятиях отрасли)		Бакулина Галина Николаевна
декан инженерного факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)		Бачурин Алексей Николаевич
зам. декана технологического факультета		Вавилова Наталья Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)		Ваулина Ольга Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.10 Гидромелиорация (Строительство и эксплуатация гидромелиоративных систем)		Гаврилина Ольга Петровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Автомобильный сервис)		Голиков Алексей Анатольевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)		Горючкина Ирина Николаевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия (Агрономия)		Евсенина Марина Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение (Инновационные экологически безопасные агротехнологии)		Ерофеева Татьяна Валерьевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки (Физиология)		Каширина Лидия Григорьевна
директор научной библиотеки		Коваленко Татьяна Александровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Автомобильные дороги)		Колошеин Дмитрий Владимирович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном		Костенко Михаил Юрьевич

хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве)	
председатель учебно-методической комиссии по специальности 36.05.01 Ветеринария (Ветеринария)	Кулаков Виталий Владиславович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия (Адаптивное земледелие)	Лупова Екатерина Ивановна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции)	Морозов Александр Сергеевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции (Технология производства, хранения и переработки продукции животноводства)	Морозова Нина Ивановна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.05 Садоводство (Декоративное садоводство, газоноведение и флористика)	Назарова Анна Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (Агроэкология)	Однодушнова Юлия Викторовна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)	Олейник Дмитрий Олегович
начальник отдела по работе с инвалидами и лицами с ограниченными возможностями по здоровью	Пашканг Наталья Николаевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния (Зоотехния)	Правдина Елена Николаевна
декан автодорожного факультета	Рембалович Георгий Константинович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.07 Товароведение (Товароведение и экспертиза в сфере производства и обращения сельскохозяйственного сырья и продовольственных товаров)	Савина Ольга Васильевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)	Тетерина Ольга Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Общее земледелие, растениеводство, Агрохимия)	Фадькин Геннадий Николаевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Лесное и лесопарковое хозяйство)	
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.03.01 Биология (Биоэкология)	Федосова Ольга Александровна
проректор по развитию и качеству образовательного процесса, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.02 Менеджмент (Управленческая деятельность в	Шашкова Ирина Геннадьевна

АПК)

председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Техническая эксплуатация транспорта и автосервис)

Юхин Иван
Александрович

ПОВЕСТКА СОВЕТА:

3. Разное (рассмотрение учебно-методических пособий, разработанных кафедрами, на предмет рекомендации в печать и использования в учебном процессе).

СЛУШАЛИ:

О рассмотрении пособия «Рекомендации по приготовлению кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства» для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве), 35.03.06 Агроинженерия и 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), на предмет рекомендации использования в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности.

«Рекомендации по приготовлению кормов сельскохозяйственным животным из побочных продуктов крахмалопаточного производства» подготовлены кандидатом технических наук, доцентом кафедры технические системы в АПК инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Утолиным Владимиром Валентиновичем.

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к использованию в учебном процессе пособие «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» предназначенное для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве), 35.03.06 Агроинженерия и 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), подготовленное кандидатом технических наук, доцентом кафедры технические системы в АПК инженерного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Утолиным Владимиром Валентиновичем.

ГОЛОСОВАНИЕ – ЕДИНОГЛАСНО.

Председатель
Методического совета



С. Н. Борычев

Секретарь Методического совета



Е. В. Стишкова