

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Тамбовский государственный технический университет»

На правах рукописи



Кажияхметова Аинур Ароновна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХИХ РАССЫПНЫХ КОРМБИКОРМОВ
ШНЕКОВЫМ СМЕСИТЕЛЕМ
С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства (Технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор Ведищев С.М.

Тамбов 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА СМЕШИВАНИЯ КОРМОВ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
1.1 Анализ эффективности рационов и роль сухих кормосмесей в кормлении животных	15
1.2 Обоснование технологии приготовления сухих рассыпных комбикормов в условиях небольших хозяйств.....	18
1.3 Обзор и анализ конструкций смесительных устройств.....	28
1.4 Методы анализа и критерии оценки качества смешивания.....	52
1.4.1 Методы анализа качества смешивания кормовых продуктов.....	52
1.4.2 Критерии оценки качества смешивания кормовых продуктов	56
1.5 Обзор теоретических исследований в области смешивания и смесителей сыпучих материалов	60
1.6 Выводы, цель и задачи исследования	67
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА	71
2.1 Факторы, влияющие на показатели качества и энергозатрат процесса смешивания.....	71
2.2 Описание конструктивно-технологической схемы предлагаемого шнекового смесителя с активным каналом обратного хода	73
2.3 Обоснование параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.....	76
2.3.1 Определение полезного объема смесителя	77
2.3.2 Определение производительности смесителя	84
2.3.3 Определение времени цикла	101
2.3.4 Определение энергозатрат смесителя с активным каналом обратного	113

хода	
2.4 Выводы по разделу 2.....	129
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В ШНЕКОВОМ СМЕСИТЕЛЕ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА.....	131
3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований. Программа экспериментальных исследований	131
3.2 Методика определения физико-механических свойств кормосмеси	134
3.3 Исследование подачи кормовой смеси из бункера в смеситель.....	137
3.4 Методика исследования рациональных конструктивно-режимных параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.....	139
3.4.1 Методика исследования подачи и мощности на привод шнека	139
3.4.2 Методика проведения экспериментальных исследований определения рациональных значений режимных, энергетических и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода	143
4 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА.....	150
4.1 Общие положения	150
4.2 Уточненные физико-механические свойства кормов	151
4.3 Результаты исследования подачи корма из бункера.....	151
4.4 Результаты исследования подачи и мощности на привод шнека.....	152
4.5 Обоснование рациональных значений режимных и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.....	156
4.6. Выводы по разделу 4	161
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО СМЕСИТЕЛЯ	163
5.1 Производственная проверка шнекового смесителя с активным каналом обратного хода	163
5.2 Оценка экономической эффективности применения смесителя кормов с	166

активным каналом обратного хода.....	
5.3 Выводы по главе 5	171
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	172
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	176
Приложение А1 - Патент на изобретение	200
Приложение Б1 - Программа для расчета теоретических значений показателей работы шнекового смесителя.....	206
Приложение Б2 - Результаты моделирования объемной подачи смесителя ...	214
Приложение В1 - Применяемые приборы, инструменты, оборудование и параметры измерений	215
Приложение Г1 - Методика определения физико-механических свойств кормов.....	216
Приложение Д1 - План экспериментальных исследований процессов	219
Приложение Е1 - Результаты расчетов коэффициентов регрессии модели второго порядка для неравномерности смешивания	220
Приложение Е2 - Результаты расчетов коэффициентов регрессии модели второго порядка для удельной энергоемкости	222
Приложение Ж1 – Акт внедрения в колхозе-племенном заводе имени Ленина	224
Приложение Ж2 – Акт внедрения в учебный процесс	225
Приложение З1 - Расчет объема дополнительных капитальных вложений ..	226
Приложение И1 - Патент на полезную модель	228

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг., которая утверждена постановлением Правительства Российской Федерации № 996 от 25 августа 2017 г., в указе Президента Российской Федерации от 07 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», а также в Федеральном законе "О развитии сельского хозяйства" и Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 сформулировано направление развития агропромышленного комплекса на основе современных технологий.

В ходе реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 – 2025 годы (ФНТП) и государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы сохранилась положительная динамика развития сельского хозяйства [128]. При этом поставлена задача полностью обеспечить страну молоком собственного производства [165].

За последние годы среднегодовой темп прироста сельскохозяйственной продукции составил порядка 4 %, однако в животноводстве наблюдается невыполнение отдельных показателей. Одной из причин невыполнения этих показателей является применение устаревших технологий [11, 107, 128].

Молочное скотоводство в России – ведущая и наиболее сложная отрасль животноводства. В отрасли работают более 1,5 млн. человек – около 2 % всех занятых в России [107].

От крупного рогатого скота получают все производимое молоко (98%) и около 40% мяса. Дальнейшее развитие скотоводства определяется необходимостью получения высокоценных продуктов питания (молока, говядины, телятины), на основе более полной реализации потенциальных возможностей живот-

ных. Это возможно достичь лишь при организации полноценного и рационального кормления животных [15].

Неоптимальное соотношение питательных компонентов в рационе животных по элементам питания ведет к снижению среднесуточного прироста их массы на 30-35% и увеличению затрат корма на единицу продукции на 50 % [15]. Сбалансированные по питательным веществам корма позволяет на 15...20 % повысить продуктивность животных по сравнению с использованием кормосмесей, сопоставимых с ними по общей питательности.

В структуре рационов крупного рогатого скота концентрированные корма составляют до 35 %. Поэтому стоимостные и качественные показатели комбикорма играют основную роль в конечных результатах производства продукции животноводства [82, 134, 137].

Использование комбикорма-концентрата, готового к употреблению без доработки, в сочетании с грубыми и сочными кормами, значительно облегчает процесс выращивания животных, делает нелегкий труд животновода выгодным и удобным.

Мировой опыт сельскохозяйственного производства показывает, что его эффективность во многом зависит от использования передовых технологий производства сельскохозяйственной продукции, оснащенности хозяйств машинами, их технологического уровня, надежности и качества [128].

Технологическая модернизация путем реконструкции и расширения существующих ферм с максимальным использованием сохранившейся инфраструктуры позволяет не только сэкономить средства, но и сохранить и восстановить сельские территории, расположенные, как правило, вокруг существующих ферм [187].

Комбикормовая промышленность – это важная отрасль. В развитых зарубежных странах производство комбикормов обеспечивается как крупными промышленными предприятиями, так и сетью мелких, успешно конкурирующих с ними за счет, в частности, близости размещения к источнику сырья и потребителю, т. е. к животноводческой ферме [134].

В К(Ф)Х и ИП производится до 7% товарного молока со средним показателем товарности, равным 70 % [105]. Материальная база таких хозяйств находится на невысоком уровне. Объемов производства молока у крупных производителей недостаточно для обеспечения потребностей перерабатывающей отрасли.

Большинство выпускаемого комбикормового оборудования было разработано и ориентировано на крупные промышленные заводы. Конструктивное исполнение отдельных машин и оборудования рассчитано на многоуровневый (заводской) вариант их размещения и не могут быть эффективно использованы в небольших хозяйствах [24, 134].

В современных условиях экономически целесообразно максимально приближать производство комбикормов к потребителю. При этом должны использоваться малоэнергоёмкие технические средства, местное сырьё и все технологические приемы, способствующие высокопродуктивному действию производимых комбикормов [24, 128].

Увеличение внутрихозяйственного производства комбикормов связано с возможностью быстрой реализации на практике без существенных государственных инвестиций [134]. В ближайшее десятилетие прогнозируется увеличение производства комбикормов более чем в 2 раза, при этом их производство непосредственно в хозяйствах составит около 46 % от общего валового объема производства [134].

Перенос производства непосредственно к источнику сырья и потребителю продукции уменьшает расходы на транспортировку и хранение продукции в 5...10 раз [134]. При таком размещении обеспечивается тесная взаимосвязь между производством сырья, его переработкой и потреблением [134]. При этом существенно снижется стоимость комбикормов за счет использования собственного, как правило, более дешевого сырья, наиболее полно и оперативно учитываются индивидуальные потребности в кормлении различных видов и половозрастных групп животных, обеспечивается собственный контроль качества комбикормов, причем на стадии его приготовления [134].

Особое внимание на комбикормовых предприятиях уделяется качеству комбикормов и индивидуальности рецептуры кормления различных видов и половозрастных групп животных [24, 134].

У поставляемой отечественной промышленностью техники низкие показатели качества. Ее конкурентоспособность на внутреннем рынке сохраняется в основном по ценовым параметрам [128].

Применение устаревших технологий и оборудования, как правило, связано с повышением удельных затрат энергии, капиталовложений и себестоимости продукции. Однако, применение более качественных и при этом более дорогих комбикормов, оправдано за счет снижения их расхода на единицу продукции, увеличивая продуктивность животных. Проблема снижения энергоемкости при производстве полнорационных комбикормов высокого качества является определяющей эффективностью всего комбикормового производства [24, 134].

Качество смеси определяется точностью дозирования компонентов и равномерностью их распределения в объеме смеси [67]. Смесители периодического действия, особенно при весовом дозировании обеспечивают надлежащее качество смеси, однако наблюдаются высокие энергозатраты. Смесители непрерывного действия требуют существенно меньших энергозатрат, однако не всегда соблюдается рецептура смеси. Вызывает сложности переход на новый рецепт. Наиболее популярны в данный момент смесители периодического действия [66, 67].

Многокомпонентность комбикормов, высокие требования к их качеству, обуславливают сложность выбора эффективного технологического оборудования для их смешивания. Создание условий для интенсификации процесса смешивания компонентов комбикормов и применение эффективных методов воздействия на компоненты является важнейшей задачей развития и совершенствования комбикормового оборудования [98]. Такая задача может быть решена внедрением прогрессивного технологического оборудования на базе новых конструкций рабочих органов, позволяющих интенсифицировать процесс смешивания компонентов комбикормов в смесителе периодического действия.

Поэтому совершенствование и разработка конструкции смесительного агрегата, определение рациональных параметров и режимов работы шнековых смесительных рабочих органов, обеспечивающих снижение удельных энергозатрат, при соблюдении показателей качества нормативам, является актуальной народнохозяйственной задачей.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», в соответствии с научно-исследовательскими программами:

- «Разработка технологий и технических средств для повышения эффективности агропромышленного комплекса», приказ ректора ФГБОУ ВО «ТГТУ» №406-04 от 5.07.2016 г.;

- «Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы)", распоряжение Правительства Российской Федерации № 3684-р от 31 декабря 2020 года, подпрограмма «4.1.5. Механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства».

Степень разработанности темы. При разработке новых и модернизации существующих смесительных машин при определении направлений их дальнейших исследований, определяющими являются работы Аблаутова В.М., Александровского А.А., Бойко М.Я., Васильева В.А., Вишневого А.А., Глобина А.Н., Гончаревича И.В., Завражнова А.И., Иванова Г.Ф., Кобы В.Г., Комарова Б.А., Коновалова В.В., Кононова Б.В., Кулешова Н.И., Куцына Л.М., Макарова Ю.И., Маргулиса М.Л., Матяшина А.В., Надёжина А.В., Овчинникова В.А., Палкина М.Г., Першина В.Ф., Петрова К.Г., Раскатовой Е.А., Ревенко С.А., Селезнёва А.Д., Смирнова Е.И., Сурковой Л.В., Сыроватки В.И., Талейскина М.Я., Терюшкова В.П., Тишанинова Н.П., Уланова И.А., Ульянова В.М., Урьева Н.Б., Утолина В.В., Фирсова М.М., Хлыстунова В.Ф., Черкуна В.Я., Штагина Е.Г. и других.

Анализ изученных работ показал, что недостаточно проработанным явля-

ется вопрос снижения энергоемкости процесса приготовления сухих рассыпных комбикормов за счет применения смесителей со шнековыми рабочими органами с активным каналом обратного хода, не исследованы транспортирующие и смешивающие возможности рабочих органов с участками пересыпания компонентов.

В качестве **рабочей гипотезы** при решении научно-технической задачи повышения эффективности смесителей кормов является предположение о том, что применение смесителя периодического действия со шнековым рабочим органом и активным каналом обратного хода за счет сложного движения кормовой смеси обеспечит высокое качество смешивания, снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции кормовой смеси.

Цель работы. Снижение удельных затрат энергии в шнековом кормосмесителе за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов, совершенствования рабочего органа и оптимизации его параметров.

Задачи исследований:

- обосновать перспективную конструктивно-технологическую схему шнекового смесителя комбикормов с пониженными удельными энергозатратами при сохранении качества в соответствии с зоотехническими требованиями;
- провести теоретические исследования технологического процесса предложенного смесителя с обоснованием его основных конструктивно-технологических и режимных параметров;
- выполнить экспериментальные исследования по изучению влияния частоты вращения рабочих органов, времени смешивания и угла установки корпуса к горизонту на показатели качества и энергозатрат технологического процесса смесителя и оптимизации его конструктивно-технологических и режимных параметров;
- разработать опытный образец смесителя кормов, испытать его в производственных условиях, дать технико-экономическую оценку эффективности его использования.

Объект исследований. Технологический процесс смешивания сухих рассыпных компонентов комбикормов в смесителе с активным каналом обратного хода.

Предмет исследования. Закономерности изменения удельных затрат энергии процесса и качества смеси от параметров рабочих органов и режимов смешивания сухих рассыпных комбикормов смесителем с активным каналом обратного хода.

Научная новизна диссертационной работы:

- уточненная классификация смесителей сухих рассыпных комбикормов;
- теоретические закономерности процесса смешивания кормов в смесителе под действием шнековых рабочих органов с активным каналом обратного хода;
- уравнения регрессии, описывающие влияние технологических и режимных параметров смесителя и физико-механических свойств кормов на удельный расход энергии и неоднородность смеси.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты теоретических исследований являются основой для совершенствования смесителей сухих рассыпных комбикормов, расчета конструктивно-режимных и технологических параметров шнековых смесителей с активным каналом обратного хода.

Полученные результаты исследований и разработок рекомендуются для использования на животноводческих предприятиях при приготовлении сухих рассыпных комбикормов; научно-исследовательским и проектным организациям при проектировании смесителей; в учебном процессе высших учебных заведений сельскохозяйственного профиля.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием положений, законов и методов классической механики, математики и математического моделирования.

Предложенные рабочие органы шнекового смесителя комбикормов исследовались в лабораторных и производственных условиях в соответствии с

действующими ГОСТами, ОСТами, РД, СТО АИСТ 19.2–2008, СТО АИСТ 1.14–2012 и др., разработанными частными методиками, с использованием сертифицированных приборов и оборудования.

Результаты исследований обрабатывались с использованием методов дисперсионного и регрессионного анализа на ПЭВМ программами «MathCAD 14», «Excel 2007», «Компас 3DV16».

Степень достоверности. Достоверность результатов исследования подтверждается использованием апробированных методик, ГОСТов, ОСТов и РД, современной поверенной контрольно-измерительной аппаратуры, достаточной повторностью измерений, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, выступлениями на международных и всероссийских научных конференциях, одобрением докладов и публикаций в открытой печати, внедрением в учебный процесс и в производство.

Разработан смеситель сухих рассыпных комбикормов периодического действия, новизна которого подтверждена патентом на изобретение РФ № 2705334 «Смеситель для сыпучих кормов» и патент на полезную модель Республики Казахстан №6448 «Шнековый смеситель с каналом обратного хода».

Положения, выносимые на защиту:

- уточненная классификация смесителей сухих рассыпных комбикормов;
- конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;
- аналитические выражения для определения производительности, полезного объема бункера, времени цикла, мощности на процесс смешивания в смесителе комбикормов с активным каналом обратного хода;
- экспериментальные зависимости влияния частоты вращения рабочих органов, времени смешивания и угла установки корпуса смесителя на неоднородность смеси и удельные затраты энергии процесса смешивания и на их основе обоснованные оптимальные и рациональные конструктивно-кинематические параметры предложенного смесителя;

- результаты проверки эффективности шнекового смесителя производственными испытаниями, при их реализации на молочно-товарной ферме.

Соответствие паспорту специальности. Материал диссертационного исследования отвечает требованиям паспорта специальности 05.20.01, п. 5. «Разработка методов повышения надежности и эффективности функционирования производственных процессов, использования агрегатов, звеньев, технологических комплексов и поточных линий, создание безопасных и нормальных условий труда, соблюдение требований охраны труда»; п.7. «Разработка методов оптимизации конструкционных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических параметров».

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 15 научных работ в ведущих научных и научно-технических журналах, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, получены: патент РФ на изобретение и патент на полезную модель - Казахстан. Общий объем публикаций составил 5,52 усл. печ. л., в том числе 2,89 усл. печ. л. принадлежит лично соискателю.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-практических конференциях в ФГБОУ ВО «ТГТУ» (2019 г., 2020 г.); ФГБОУ ВО «Рязанский ГАТУ им П.А. Костычева (2017 г., 2019 г.); УО «Белорусский ГАТУ» (2019 г.).

Личный вклад автора. Проведен анализ состояния вопроса, разработаны основные теоретические положения работы, программа и методика исследования.

Под руководством автора разрабатывались технические задания и документация при проектировании опытных образцов предложенных устройств, осуществлялись экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях, а также обработка и анализ результатов, научное обоснование выводов и рекомендаций.

Работа является результатом самостоятельных исследований соискателя и обобщением некоторых исследований, выполненных преподавателями и магистрантами кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». В работах, выполненных в соавторстве, автор сделан основной вклад, заключающийся в формулировке цели и задач исследования, в разработке теоретической части и личном участии в проведении экспериментальных исследований.

Огромную благодарность и признательность автор выражает доктору технических наук, заслуженному деятелю науки и техники, профессору, академику РАН А.И. Завражнову, кандидатам наук: доценту А.В. Прохорову, доценту Н.В. Хольшеву, за оказанную помощь при выполнении данной работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, 5 глав, заключение и список использованных источников из 187 наименований. Работа изложена на 229 страницах машинописного текста и содержит 9 таблиц, 55 рисунков и 12 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА СМЕШИВАНИЯ КОРМОВ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ эффективности рационов и роль сухих кормосмесей в кормлении животных

Организация полноценного кормления животных основана на знании их потребности в различных питательных веществах, витаминах, минеральных веществах и ценности определенного корма в питании животных. Недостаток общей энергии в рационе снижает темпы роста молодняка и продуктивность взрослых животных. Нормированное кормление позволяет рационально использовать корма, максимально увеличивать продуктивность животных при одновременном снижении затрат кормов на единицу продукции [44, 60].

Недостаточное кормление животных снижает их продуктивность, плодовитость, наблюдается задержка роста молодняка. При избыточном кормлении отмечается ожирение животных и снижение их воспроизводительных функций. При нормированном кормлении в сухом веществе рациона различных животных должно содержаться строго определенное количество энергии, питательных и биологически активных веществ.

Поэтому главным фактором повышения эффективности животноводства в фермерском хозяйстве является создание сбалансированной кормовой базы, отвечающей современным научным и практическим требованиям производства животноводческой продукции. Необходимо учитывать, что эффективное использование кормов в значительной степени зависит от качества их подготовки к скармливанию животным [102].

Ни один вид корма не содержит полного набора требуемых для животных питательных веществ, витаминов и микроэлементов, и не всегда реализуется возможность усвоения этих питательных веществ.

Неоптимальное соотношение питательных компонентов в рационе животных по элементам питания ведет к снижению среднесуточного прироста их массы на 30-35% и увеличению затрат корма на единицу продукции на 50 %. В

среднем расход кормов на получение 1 ц молока превышает затраты труда в 1,5 раза, мяса крупного рогатого скота (КРС) - в 2,5 раза, свиней - в 2,0 раза, птицы – в 1,3 раза. Качественные корма обеспечивают доставку в организм животного, полезных веществ в требуемых количествах и соотношениях, что позволяет на 15-20 % повысить продуктивность животных по сравнению с использованием кормосмесей, сопоставимых с ними по общей питательности [15].

Сбалансированные комбикорма только по белку, углеводам и жирам увеличивают продуктивность животных на 10 – 12 %, а при включении биологически активных веществ их эффективность увеличивается на 25 – 50 % [35, 65].

В структуре рационов крупного рогатого скота концентрированные корма составляют до 35 %, свиней и птицы соответственно – до 90-95 %. Поэтому стоимостные и качественные показатели комбикорма играют основную роль в конечных результатах производства продукции животноводства [82, 127, 134].

Наиболее востребованными при кормлении сельскохозяйственных животных являются комбикорма. Комбикорма – однородная смесь измельченных до необходимого размера различных кормовых средств и микродобавок, составляемая по научно обоснованным рецептам, обеспечивающая сбалансированное по всем элементам кормление животных. Комбикорма позволяют оптимизировать рационы по энергии, протеину, макро- и микроэлементам, витаминам и другим биологически активным веществам в соответствии с нормами кормления животных [82, 127, 134].

Виды выпуска комбикорма [82, 127, 134]:

- *Брикетированный*. Самый удобный для транспортировки. Брикеты не занимают много места и не портятся при перевозке. Долго хранятся.

- *Гранулированный*. Преимущество заключается в экономии трудового ресурса при кормлении, так как гранулы не нуждаются в дополнительной обработке. Удобен при откормке.

- *Рассыпной*. Главное преимущество — длительный срок хранения. Однако его тяжело перевозить и складировать. Со временем, по причине естественного расслоения порошкового состава, животные могут отравиться.

- *Крупка*. Изготавливают путем измельчения гранул комбикорма до частиц заданного размера. В отличие от россыпи, с которой ее часто путают, крупка не только раздроблена, смешана, но и термически обработана. При ее поедании животные получают все компоненты, входящие в состав комбикорма.

В зависимости от назначения различают полнорационные комбикорма, комбикорма-концентраты, балансирующие кормовые добавки – белково-витаминные, минеральные и премиксы.

В качестве *наполнителя* используют соевый или подсолнечный шрот, кормовые дрожжи, отруби пшеничные, овес, ячмень и зерно пшеницы тонкого помола. Норма ввода премиксов, вырабатываемых специализированными предприятиями, – 10 кг на 1 т комбикорма (1% по массе).

Для обеспечения полноценного питания крупного рогатого скота в суточный рацион включаются комбикорма-концентраты или полноценные комбикорма. При обычном удое их доля составляет 300-350 г на 1 кг молока, а при высоком – доводится до 500 г на 1 кг молока [134, 164].

В состав комбикормов входит до 14 основных компонентов и до 50 других, включая микроэлементы. В зависимости от индивидуальных потребностей различных видов и половозрастных групп животных, эти компоненты должны быть после соответствующего измельчения равномерно смешаны в определенных весовых пропорциях на основе научно обоснованных рецептов [134, 164].

По данным ВНИИ физиологии, биохимии и питания сельскохозяйственных животных, из 125 образцов комбикормовых смесей, только 3 пробы (2 %) полностью соответствовали нормативным требованиям. В 60 % случаев отмечался недостаток витаминов и компонентов, в 35 % случаев – их полное отсутствие [134, 164]. Кроме того, в производимых кормах отмечается значительный дефицит протеина.

Для каждого вида и породы в разные возрастные периоды нужен определенный объем питательных веществ. Рецептура корма разрабатывается для конкретного вида, породы и возраста. Состав корма подбирают исходя из режима кормления. Принято разделять схему на 3 части: основное кормление (в

любое время суток и в любой дозировке); балансирующее кормление (восполнение недостатка протеинов и прочих питательных элементов); концентрированное кормление (в качестве дополнения к основному рациону).

Для прессования необходимо применение дополнительного энергоемкого оборудования гранулирования или брикетирования комбикорма, а также дополнительные финансовые затраты. Поэтому гранулирование могут позволить себе только относительно крупные производства. В небольших фермерских хозяйствах, как правило, нет необходимости в длительном хранении приготовленного корма, а также транспортирования его на большие расстояния.

Считаются недоброкачественными и непригодными к использованию комбинированные корма, имеющие затхлый плесневелый, гнилостный и другие запахи, не свойственные данным продуктам, а также комковатость и устанавливаемое визуально заплесневение [134, 164].

Несоблюдение условий и сроков перевозки и хранения готовых комбикормов, особенно обогащенных различными микродобавками, является одним из важных факторов поражения их микотоксинами [134, 164].

Исходя из выше сказанного для повышения эффективности повышения получения продукции животноводства в небольших фермерских хозяйствах необходимо производство и использование сухих рассыпных комбикормов непосредственно в хозяйствах с учетом местных кормовых ресурсов.

1.2 Обоснование технологии приготовления сухих рассыпных комбикормов в условиях небольших хозяйств

При производстве комбикормов на крупных специализированных заводах существенную долю затрат составляют транспортные расходы на перевозку сырья и готового продукта. Следствием этого является все большая концентрация производства комбикормов на внутрихозяйственных предприятиях.

Различия в рационах кормления различных возрастных групп животных требуют частой и оперативной перестройки технологического оборудования на производство корма.

Для эффективного использования имеющегося сырья на внутрихозяйственных предприятиях (зерно злаковых и масличных культур, белковые компоненты, минеральные компоненты) необходимо балансировать его обогащающими добавками. Нередко в хозяйстве возникает необходимость применения в кормах лекарственных препаратов.

В условиях внутрихозяйственного предприятия на комбикорма в соответствии с зоотехническими требованиями влияет возможность оперативного контроля качества за ходом технологических операций и возможность внесения необходимых корректив в работу технологического оборудования на стадии приготовления корма.

Важным фактором, определяющим себестоимость приготавливаемого корма, является использование оборудования, удовлетворяющего требованиям ресурсосбережения при обеспечении требуемого качества продукции. В фермерских хозяйствах комбикорма производят по упрощенной технологической схеме: очистка зернового сырья от посторонних примесей; измельчение; дозирование отдельных компонентов в соответствии с выбранным рецептом, смешивание; хранение.

Созданием комбикормовых производств занимались специалисты многих учебных и научно-исследовательских институтов. В этих исследованиях ведущая роль принадлежит работам таких институтов, как ВИЭСХ, ВНИИМЖ, ВНИПТИМЭСХ, ФАНЦ Северо-Востока, АНЦ «Донской», Донской ГАУ и др. Ими были разработаны технологические схемы, агрегаты, предусматривающие поточность производства, минимальную продолжительность технологического цикла, комплексную механизацию и автоматизацию процессов, современный контроль качества на основных участках производства (прием сырья, измельчение, дозирование, смешивание и др.), учет сырья и продукции, эффективное использование технологического, энергетического и другого оборудования, оперативное управление, защита окружающей среды, благоприятные условия труда, соответствие противопожарным требованиям [102, 110, 128].

По назначению комбикормовые предприятия классифицируются (рис. 1.1): по назначению-на локальные (для отдельных хозяйств) и межхозяйственные; по производительности- на комплексные и специализированные [102, 110, 128].

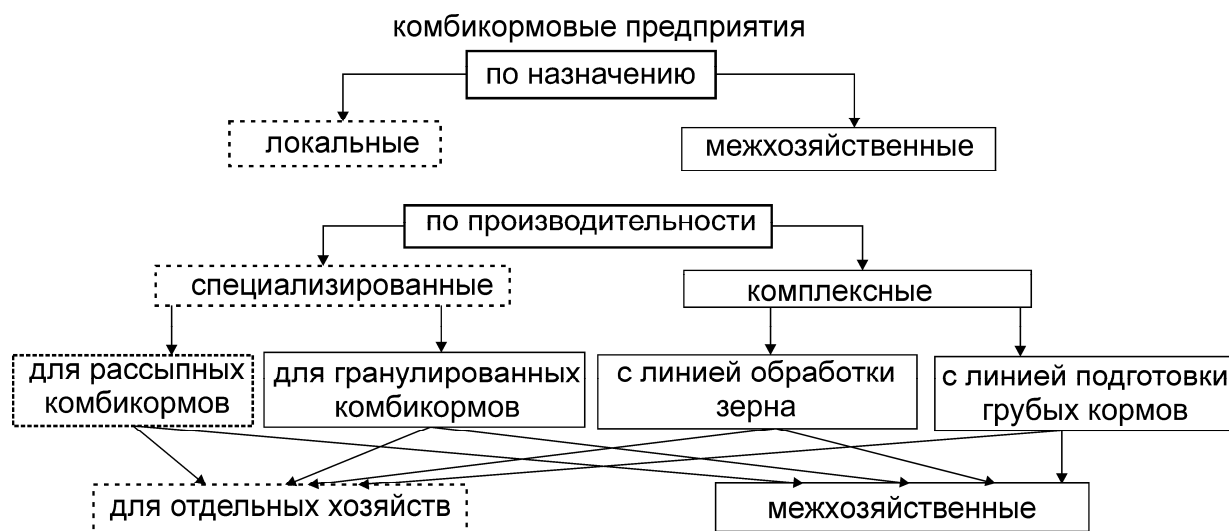


Рисунок 1.1 – Схема классификации комбикормовых предприятий

Комплексные комбикормовые предприятия предназначены для производства [102, 110, 128]:

- комбикормов-концентратов в рассыпном и гранулированном видах с линией послеуборочной обработки и хранения фуражного зерна производительностью от 2,0 до 4,0 т/ч – для отдельных хозяйств и от 2,0 до 16,0 т/ч - для межхозяйственных предприятий;

- брикетированных и гранулированных комбикормов-концентратов и подготовки грубых кормов производительностью от 1,5 до 9,0 т/ч.

Специализированные комбикормовые предприятия, предназначенные для производства:

- полнорационных комбикормов и комбикормов-концентратов в рассыпном и гранулированном видах производительностью от 0,5 до 4,0 т/ч – для отдельных хозяйств и от 2,0 до 12,0 т/ч - для межхозяйственных предприятий;

- брикетированных и гранулированных кормов производительностью от 1,5 до 6,0 т/ч - для локальных и межхозяйственных предприятий.

Приготовление сухой рассыпной кормосмеси непосредственно в хозяйствах включает две (дозирование + смешивание) или три (дозирование + измельчение + смешивание) операции.

Высокое качество комбикормов получают по одному из следующих вариантов организации технологического процесса [126]:

- каждый вид сырья готовится отдельно и дозируется на заключительном этапе (одноэтапное измельчение – одноэтапное дозирование);
- смесь компонентов предварительно формируется с последующим двухэтапным дозированием;
- совместная переработка сырья, включающая измельчение, подготовку остальных компонентов с одноэтапным дозированием (многокомпонентное измельчение – одноэтапное дозирование);
- дозирование всех видов сырья и их совместной переработкой (одноэтапное дозирование – многокомпонентное измельчение).

Предусмотрены следующие технологические линии: подготовка зернового сырья; шелушения пленчатых культур; подготовка минерального сырья; приготовления обогатительных добавок; подготовки и ввода жидких компонентов; дозирования и смешивания- объемное и весовое дозирование с погрешностью не более 3 %; гранулирования.

В ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии разработана схема получения комбикорма в сельскохозяйственном предприятии на основе полнорационных кормосмесей с возможностью использования зерновых, бобовых, масличных культур, а также зеленых, сочных и грубых кормов [177].

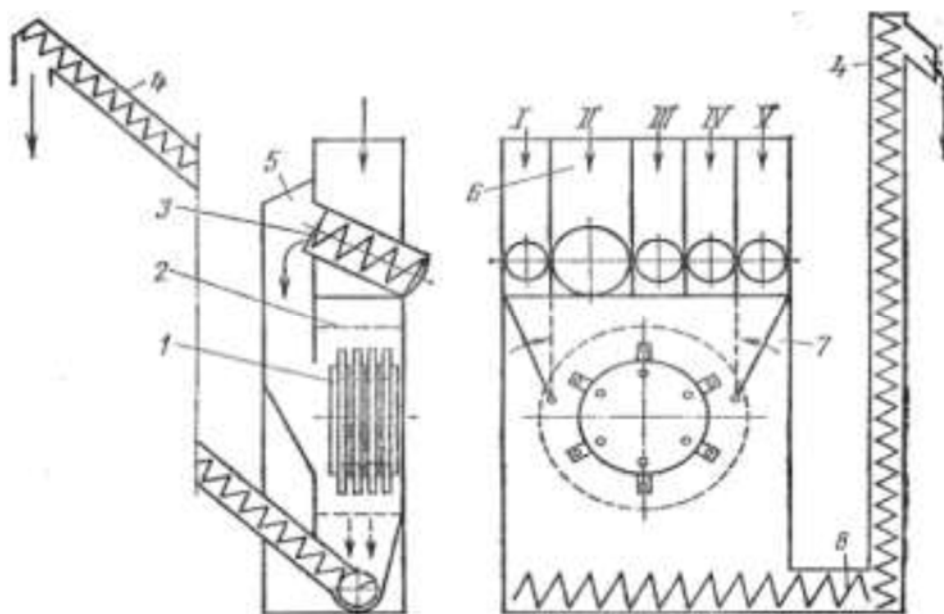
В разработанной схеме можно выделить два граничных варианта получения хозяйством комбикорма: приобретение произведенного специализированным предприятием комбикорма; производство комбикорма на внутрихозяйственном предприятии с максимальным использованием собственной сырьевой базы и закупкой на рынке недостающих компонентов.

Второй вариант позволяет оперативно реагировать на изменяющиеся запросы животноводческой отрасли путем соответствующей перенастройки тех-

нологического процесса. При этом в максимальной степени используется сырье собственного производства с реальной возможностью удешевления производимых кормосмесей за счет совершенствования технологических процессов подготовки исходных компонентов и приготовления кормов.

Примером могут служить разработанные проектным институтом «Гипронисельхоз» цеха для приготовления полнорационных комбикормов непосредственно в хозяйствах и межхозяйственных объединениях из зерна собственного производства и белково-витаминных добавок промышленного изготовления - ОЦК-4, ОКЦ-4, ОКЦ-15, ОКЦ-30.

Трехоперационный агрегат *BLOUNT* фирмы *DANNENBERGGMBH* включает в себя молотковую зернодробилку закрытого типа, блок винтовых дозаторов, выгрузной и смесительный винтовые конвейеры (рис. 1.2). Структура готовой смеси достигается тарировкой винтовых дозаторов.



1 - молотковый ротор дробилки; 2 - решето; 3 - блок дозирующих винтовых конвейеров; 4, 8 - выгрузные конвейеры; 5 - крышка; 6 - наддозаторные бункеры; 7 - перекидные заслонки

Рисунок 1.2 - Схема комбикормового агрегата *BLOUNT*

В качестве примера также можно привести комплексы по приготовлению полнорационных комбикормов из 4 – 6-зерновых компонентов с добавлением готовых БВМК: комплексы КПК и ККУ; линия приготовления кормосмесей

(ЛПК-2); мельница (Agrex Mix); установки для приготовления комбикормов (Р6-УПК; Р6-УПК; УК-2; УМК-Ф-2) и ряд других [63, 157].

Комплексы серии КПК (производительность от 0,28 до 4,6 т/ч) и серии ККУ (производительность от 1,7 до 4,6 т/ч), включают в себя дробилку ДКР, смеситель ССК, транспортер шнековый ТШ, сепаратор для предварительной очистки зерна СА, электронное весовое устройство [63].

Комплекс приготовления рассыпного комбикорма (КВО) обеспечивает от 1350 до 5500 голов КРС из многокомпонентной смеси для каждой группы животных на одной линейке оборудования [63]. Дозирование компонента, загружаемого пневматически дробилкой, производится по предварительно занесенному рецепту в память устройства Агродоз-123 их последовательной загрузкой. Ввод предварительно взвешенных на весах добавок производится через загрузочный патрубок в нижней части смесителя. Жидкие добавки подаются в патрубки при помощи жировой машины или самотёком. После загрузки последнего компонента комбикорма смешивание длится порядка 5-7 минут.

Линия приготовления кормосмесей (ЛПК-2) предназначена для животноводческих хозяйств или предприятий, выпускающих многорецептурные комбикорма на основе 3-х и более компонентной зерновой составляющей и добавок с долей до 15%, с использованием готовых покупных минерально-витаминных добавок. Линия состоит из дробилки молотковой, смесителя, весов, дозатора, шнека разгрузочного. [63].

Установка для приготовления комбикормов (Р6-УПК) предназначена для изготовления сухих сыпучих комбикормов различных рецептур на основе всех видов зерновых культур, в том числе масличных, а также лузги крупяных культур, гранул, шрота, мелкокускового жмыха и других сыпучих кормов и пищевых материалов, биовитамино-минеральных добавок в условиях животноводческих фермерских хозяйств. Установка изготавливается в двух исполнениях: Р6-УПК.00 и Р6-УПК.01 - и представляет собой комплекс малогабаритного дробильного, смешивающего, транспортного, фильтрующего оборудования [63].

Установка для производства комбикормов (УК-2) (рис. 1.3) предназначена для приготовления в условиях хозяйств рассыпных комбикормов из собственного зерна и покупных белково-витаминных и минеральных добавок. Имеет весоизмерительный механизм, осуществляет измельчение и смешивание кормовых материалов. Обслуживается одним человеком [63].

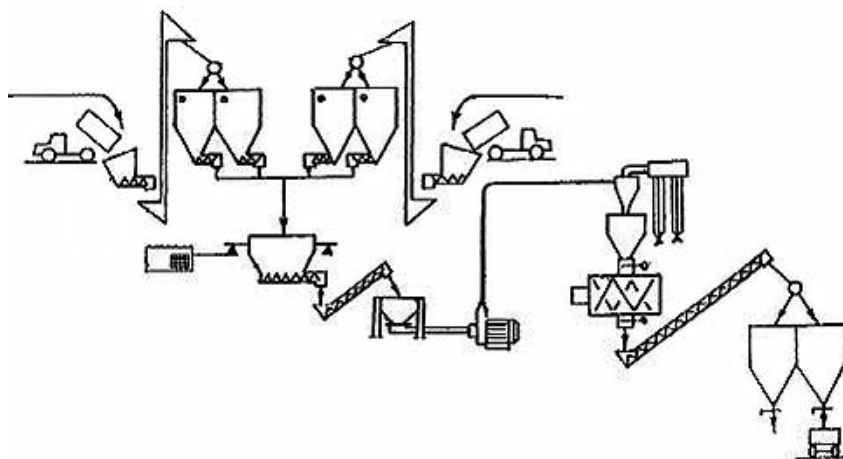


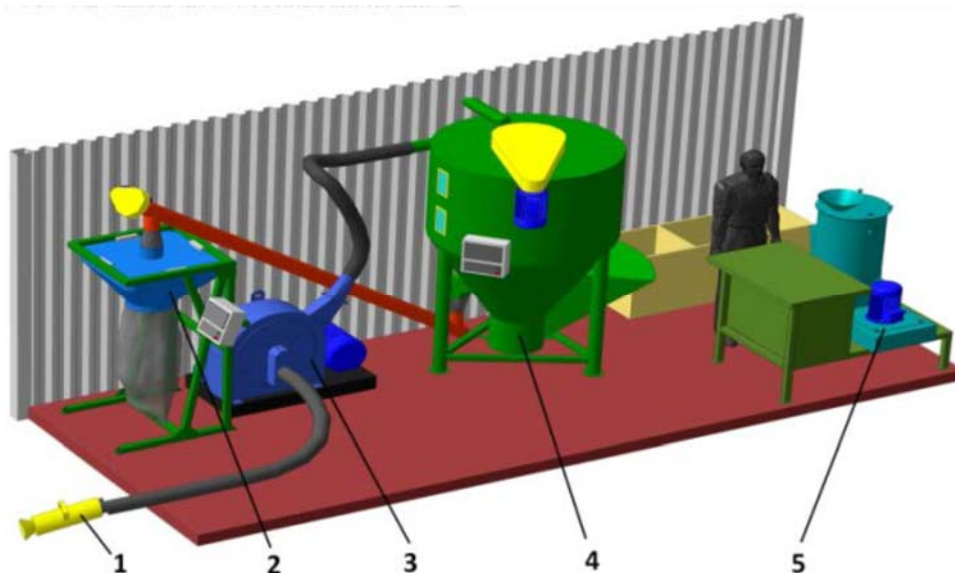
Рисунок 1.3 – Установка для производства комбикормов (УК-2)

Конструкция мельницы (Agrex Mix) позволяет дробить и смешивать различные типы зерновых при условии, что их влажность не превышает 15%. В зависимости от размера измельчающих сеток получают корма различной крупности. Производятся в стационарном и мобильном вариантах [63].

Приближение производства комбикормов к источникам сырья и местам потребления позволяет более полно и рационально использовать сырье самих хозяйств, дает возможность сократить транспортные расходы на перевозку исходного сырья и готового продукта. Такое производство получения комбикорма низкзатратно и не требует покупки дорогостоящего оборудования для комбикормовых цехов. Для условий конкретного сельхозпредприятия возможно использование имеющегося оборудования и машин в данном хозяйстве. Применение кормов собственного производства обеспечивает снижение затрат на единицу животноводческой продукции на 15-20% [65].

Имеющиеся в хозяйствах помещения зачастую не соответствуют санитарным требованиям и нормам безопасности, а строительство новых зданий требует времени и значительных финансовых затрат. Поэтому рациональной

является компоновка модулей в контейнерах (рис. 1.4), размеры которых позволяют транспортировать их автотранспортом. Это позволит осуществлять все работы по сборке, комплектованию и наладке оборудования на предприятии-изготовителе.

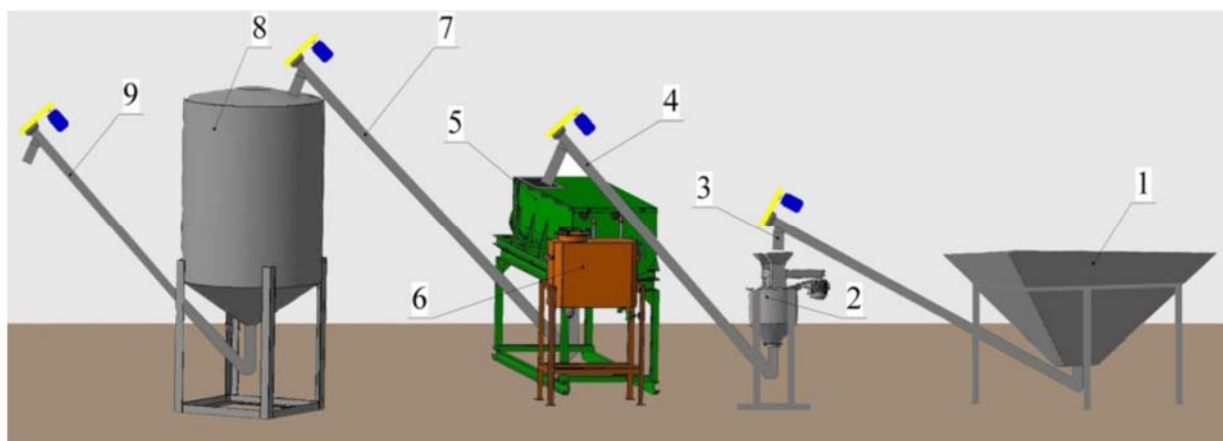


1 – пневморукав для загрузки зерновых компонентов; 2 – затариватель готовой продукции АЗК-2; 3 – дробилка ДМ-3; 4 – смеситель УСК-1,5; 5 – смеситель премиксов СВ-40

Рисунок 1.4 - Модуль производства комбикорма, смонтированный в контейнере

Блочно-модульное формирование структуры комбикормовых цехов обеспечивает возможность её адаптивной трансформации к индивидуальным особенностям сельхозпроизводителя [65].

Это блоки измельчения, смешивания, весового дозирования, хранения и выдачи готового корма, образующие основной модуль. Дополнительно в состав предприятия могут включаться блоки ввода жидких добавок и обеззараживания, СВЧ-обработки, экспандирования и гранулирования, образующие дополнительные модули. Одним из примеров является разработанная в ГНУ СКНИИ-МЭСХ внутрихозяйственная технологическая линия производства комбикормов (рис. 1.5) [65]. Техническая характеристика внутрихозяйственной технологической линии приготовления комбикормов: производительность - 1 т/ч; установленная мощность - 15 кВт; однородность внесения компонентов - 95 %; доза внесения жидких добавок – 3...6 %; энергоёмкость процесса - 12,1 кВт·ч/т.



1 – бункер с выгрузным шнеком АП100.1; 2 – дробилка вертикальная ВД-1; 3 – тройник шнека; 4 – шнек для подачи дробленых компонентов; 5 – смеситель компонентов комбикормов СК-15Н; 6 – устройство для ввода жидких добавок; 7 – шнек для выдачи смешанных компонентов; 8 – бункер готовой продукции; 9 – шнек для выдачи готового комбикорма

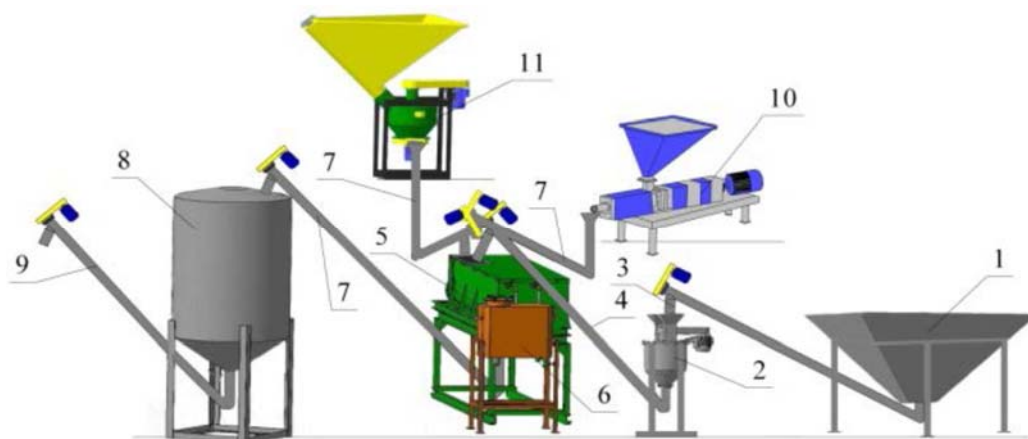
Рисунок 1.5 - Общий вид внутрихозяйственной технологической линии приготовления комбикормов

Технологическая линия приготовления комбикормов с дополнительным блоком экспандирования предусматривает ввод мелассы посредством модуля для ввода жидких и жировых компонентов (рис. 1.6).

Применение мобильных multifunctional смесителей-раздатчиков кормов позволит снизить расход электроэнергии на 20 % и затраты труда - на 30 % [121]. Но определяющую роль в этом варианте играет стоимость покупаемого хозяйством полнорационного комбикорма, приготовленного на специализированном комбикормовом заводе из покупных компонентов.

В СК-НИИМЭСХ разработан агрегат комбикормовый мобильный АКМ-3М с приводом от ВОМ трактора (рис. 1.7) [65, 101]. Агрегат позволяет загружать и измельчать зерновые компоненты, смешивать их с премиксами и БМВД, транспортировать и выдавать полученную кормосмесь в кормушки, транспортные средства и склады. Его производительность на приготовлении комбикормов до 2,5 т/ч, на смешивании и раздаче кормосмесей – до 8 т/ч, агрегируется с тракторами класса 0,9 - 1,4 кН.

Применение мобильного комбикормового агрегата позволяет исключить капиталовложения в стационарный комбикормовый цех, что сокращает затраты на организацию комбикормового производства в хозяйстве в 3,5-4,0 раза.



1 – бункер-питатель; 2 – дробилка вертикальная ВД-1; 3 – тройник шнека; 4 – шнек подачи дробленого компонента; 5 – смеситель кормов СК-15Н; 6 – устройство для ввода жидких добавок; 7 – шнек выдачи кормовой смеси; 8 – бункер для готовой продукции; 9 – шнек выдачи готового комбикорма; 10 – пресс-экспандер ЭК-75; 11 – измельчитель зеленой массы ИЗК-4

Рисунок 1.6 - Технологическая линия приготовления комбикормов с дополнительным блоком экспандирования



1 – смеситель; 2 – ходовая часть; 3 – выгрузное окно с заслонкой и скатным лотком; 4 – привод смесителя; 5 – дробилка зерна; 6 – контрпривод; 7 – клиноременная передача; 8 – карданный вал; 9 – всасывающий рукав; 10 – нагнетательный трубопровод

Рисунок 1.7 - Агрегат комбикормовый мобильный АКМ-3М

Во всех рассмотренных технологических схемах одной из основных операций процесса приготовления качественных полнорационных кормосмесей является смешивание компонентов. Результирующим параметром, определяющим на заключительном этапе качество готового корма, является однородность кормосмеси. Согласно зоотехническим требованиям, однородность смеси должна составлять не менее 90 - 95 % [32, 91, 97, 110, 164, 166, 176].

Проведенный анализ конструкций малогабаритных комбикормовых агрегатов и их классификация свидетельствуют о большом разнообразии конструкций, а также о том, что рабочий процесс, в силу своей сложности, недостаточно изучен и требует дальнейших исследований.

1.3 Обзор и анализ конструкций смесительных устройств

Для приготовления кормов животным в нашей стране и за рубежом нашли применение смесители кормов, как выпускаемые серийно, так и отдельные образцы, изготовленные аспирантами и соискателями НИИ вузов, конструкторских бюро, а также специалистами и рационализаторами хозяйств. Разнообразие этих устройств связано с различными зоотехническими требованиями к процессу смешивания для различных видов и возрастных групп животных, разнообразием зональных особенностей кормов и их физико-механических свойств, размерами и назначением кормоприготовительного оборудования, в также поиском рациональной конструкцией машины, которая по своим показателям качества наиболее полно отвечала бы зоотехническим и технико-экономическим требованиям [32, 78, 88, 91, 97, 104, 110, 119, 120, 151, 152, 162, 164, 173, 176, 177, 179, 182].

Для выявления направления совершенствования существующих смесителей кормов рассмотрим классификацию и проведем анализ наиболее типичных конструкций таких машин.

С учетом ранее разработанных классификаций смесителей кормов [6, 9, 13, 24, 25, 30, 31, 32, 54, 65, 75, 78, 81, 87, 92, 96, 97, 100, 101, 108, 125, 134, 149, 150, 151, 152, 154, 156, 175, 176, 177, 178, 180] по показателям наибольшего влияния на качество смеси и энергоемкость процесса их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам (рис. 1.8): виду кормов; кинематическому режиму; характеру смешивания; конструктивному признаку; конструктивному исполнению бункера; по количеству смешивающих валов; расположению рабочего органа; способу смешивания; по виду движения смешиваемых компонентов; по типу рабочего органа.

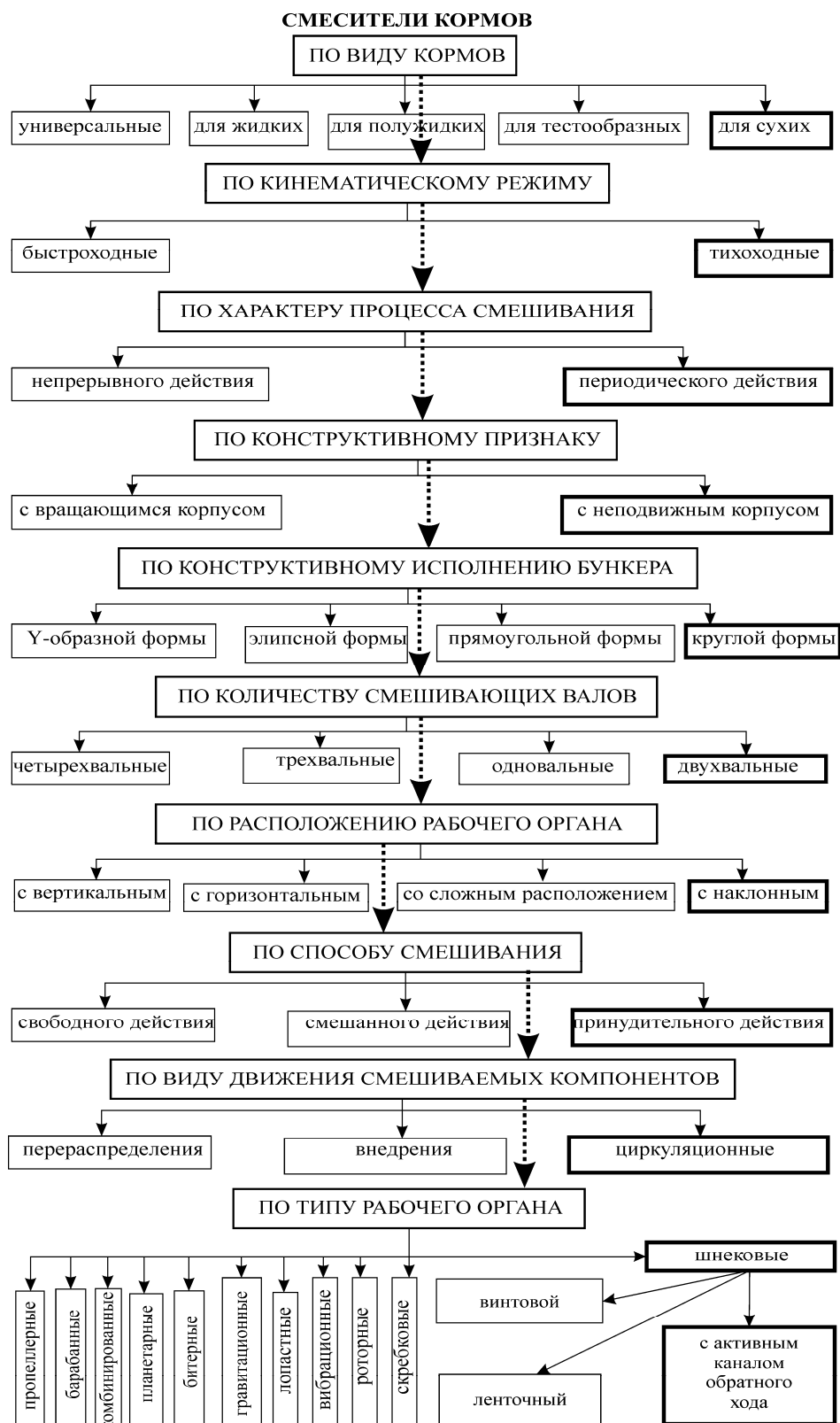


Рисунок 1.8 – Классификация смесителей кормов

По способу дислокации смесители разделяют на стационарные и передвижные. Смесители первой группы устанавливают, как правило, в кормоцехах, смесители второй группы монтируют на передвижных установках, которые

позволяют производить смешивание вне помещения кормоцеха по запросам потребителей.

По виду кормов целесообразны смесители для сухих рассыпных кормосмесей, как наиболее технологичных.

По кинематическому режиму работы в зависимости от частоты вращения рабочих органов смесители можно разделить на тихоходные ($k < 30$) и быстроходные ($k > 30$). Время приготовления в быстроходных смесителях несколько меньше, чем в тихоходных, но выше удельные энергозатраты на единицу корма. Быстроходные смесители применимы не для всех типов кормов. Также при высокой частоте вращения рабочих органов происходит дополнительное измельчение компонентов корма, что недопустимо зоотехническими требованиями [75, 92, 176, 179].

По характеру процесса смешивания основные типы смесителей для производства сухих рассыпных смесей: непрерывного и периодического действия [12, 75, 92, 176, 179]. В смесителях непрерывного действия исходные компоненты подаются постоянно, проходя процесс перемещения от места загрузки к месту выгрузки. Использование таких смесителей требует необходимости точного дозирования компонентов для получения готового продукта высокого качества. Исследование закономерностей процесса смешивания в таких смесителях вызывает сложности из-за погрешностей вспомогательного оборудования [12].

Смесители периодического действия работают по установленным циклам, включающим загрузку исходных компонентов смеси, перемешивание, выгрузку [12, 75, 92, 176, 179].

Смесители периодического действия также разделяются по принципу воздействия на перемешиваемый материал: гравитационного и принудительного действия [12, 75, 92, 176, 179]. Смесители принудительного действия оснащены смесительными рабочими органами, которые, воздействуя на массу исходных компонентов, осуществляют их перераспределение [12, 75, 92, 176, 179].

Применение смесителей периодического действия выгодно при кормлении небольшого количества животных в условиях фермерских хозяйств. Применение таких смесителей повышает качество смешивания, что сказывается на продуктивности животных [97].

При смешивании кормовых продуктов по конструктивному признаку применяются смесители с вращающимся корпусом, либо барабанные смесители. Барабанные смесители различаются формой корпуса и его расположением к оси вращения. В промышленности используются следующие типы барабанных смесителей: цилиндрический горизонтальный; цилиндрический вертикальный; биномический горизонтальный; биномический вертикальный; граненый горизонтальный; бицилиндрический (V-образный); кубический; тетраэдрический; цилиндрический с наклонной осью («пьяная бочка») [12, 75, 92, 176, 179].

Барабанные смесители относятся к тихоходным машинам, так как окружная скорость вращения их корпуса невелика и составляет 0,17 – 1,00 м/с [98, 104, 112].

В некоторых конструкциях барабанных смесителей процесс смешивания интенсифицируется с помощью различного рода вращающихся устройств, так как качество в барабанных смесителях с неподвижными элементами на внутренней поверхности корпуса неудовлетворительное [54, 98, 104, 139, 147]. Например, существуют смесители, внутри цилиндрического корпуса которых в зоне обрушения сыпучего материала установлен быстровращающийся вал с лопастями.

В [98] предложена конструкция винтового барабана вогнутой формы, который обеспечивает интенсификацию процесса смешивания комбикормов, поджатие компонентов комбикормов в процессе их перемешивания от загрузки к выгрузке.

Мощность, расходуемая на процесс смешивания, у барабанных смесителей прямо пропорциональна степени заполнения смесительной камеры и числу оборотов лопастного вала [71].

К преимуществам барабанных смесителей можно отнести: простоту устройства; возможность смешивания компонентов без истирания и разрушения формы; перемешивание абразивных компонентов. К недостаткам: низкое качество смешивания; длительный цикл смешивания; большие энергетические затраты на единицу готовой продукции [134].

Для рационального перемешивания кормовых материалов применяют одно-, двух-, трех- и четырехвальные ленточные смесители [69].

Увеличение количества рабочих органов приводит к усложнению конструкции.

По расположению рабочих органов смесители можно разделить на вертикальные, горизонтальные, с наклоном и сложные [92].

Вертикальное расположение оси шнеков (1 – 2 шнека) и наличие зазора между шнеком и стенкой смесительной камеры позволяет кормовой массе, поднимаемой шнеком, свободно сползать вниз по стенкам воронкообразной смесительной камеры, что создает щадящий режим обработки компонентов рациона без повреждения их структуры.

Простота конструкции, небольшие затраты на техобслуживание и быстрая окупаемость вертикальных смесителей оказывают хорошую перспективу для их использования сельхозтоваропроизводителями [134].

Одним из видов смесителей с вертикальными рабочими органами являются планетарные смесители [12, 34, 97, 177]. Особенностью планетных смесителей является множество вариантов конструкций рабочих органов (лопастные, шнековые, винтовые и ряд других) (рис. 1.9) и возможность их замены [12, 97]. Достоинство: высокая производительность; высокое качество перемешивания; способность перемешивать материалы с различными физическими свойствами. Недостатки: высокие энергозатраты; сложная конструкция планетарной передачи; большое время разгрузки [6, 30, 31, 32, 78, 81, 92, 97, 175, 176].

Смесители с горизонтальными рабочими органами обеспечивают высокое качество смеси и низкие удельные затраты энергии. Конструкция смесителя с горизонтальным расположением шнека (2 - 4 шнека) предусматривает переме-

щение кормовой массы по дну смесительной камеры, что приводит к усиленному износу стенок смесительной камеры и повышенному риску повреждения перемешивающей системы инородными телами, а также вызывает интенсивное воздействие на структуру кормовых компонентов, сдавливание кормовой массы по дну смесительной камеры и образование комков [69].



Рисунок 1.9 - Варианты исполнения рабочих органов планетарного смесителя

Преимущества смесителей с наклонными рабочими органами заключаются в лучшей организации циркуляции компонентов корма с исключением застойных зон, прессования и фракционирования кормов [13].

По способу смешивания перемешивание компонентов в смесителе может осуществляться свободно (под действием сил гравитации), принудительно и смешанно [5, 64, 136, 138, 139, 176, 184].

При гравитационном воздействии компоненты смешиваются под действием силы тяжести и взаимодействия с различными неподвижными конструктивными элементами. Известны следующие конструкции таких машин: лотковый; бункерный; ударно-распылительный; виброгравитационный [12, 93, 94].

К преимуществам гравитационных смесителей можно отнести простоту и надежность устройства, отсутствие движущихся побудителей смешивания, малые удельные расходы энергии. Их недостатки: низкое качество смешивания, необходимость точного дозирования из-за низкой сглаживающей способности, возможность смешивания материалов с хорошей и в отдельных случаях – средней сыпучести [12, 54].

Для улучшения показателей работы гравитационных смесителей в них применяют дополнительно принудительное смешивание за счет установки по-

движных рабочих органов, придания компонентам корма вибрации. Вибрация исключает возможность зависания смешиваемых компонентов при переходе их из секции в секцию, повышает качество смеси (можно достичь однородности смеси до 97% [5, 54, 64]), позволяет уменьшить угол наклона к горизонту внутренних рабочих поверхностей смесителя, что намного сокращает его размеры [54, 139].

Примером совмещения гравитационного процесса смешивания с принудительным могут служить смесители-дозаторы кормов, которые объединяют в себе многокомпонентный дозатор тарельчатого типа и смеситель, работающий по принципу перемешивания потоков компонентов [158, 170] или за счет потока воздуха между конусом и быстровращающимся диском с лопатками [138]. Конструкция дозаторов-смесителей позволяет не только получать большую производительность при минимальных энергозатратах, но также оперативно изменять структуру корма [138, 158, 170].

Вариантами смешанного действия является сочетание вибрации и пропускания через смесь сжатого воздуха. Сочетание продувки и вибрации обеспечивает лучшие показатели работы таких смесителей, но следует отметить сложность конструкции и высокие удельные затраты энергии. В ряде смесителей со смешанным воздействием на компоненты корма используют сочетание вибрации бункера смесителя или его днища с принудительно смешивающими рабочими органами [54].

Примером совмещения гравитации и вибрации могут служить усовершенствованный смеситель сыпучих кормов непрерывного действия, разработанный инженером А. Яцуновым [136, 184], и вибросмеситель периодического действия с рабочей камерой, установленной на амортизаторах, конструкции Ивановой А.П. [64]. Улучшение качества смеси получают за счет интенсификации процесса смешивания, благодаря изменению угла наклона перемешивающих элементов к днищу желоба в поперечной горизонтальной плоскости [123, 184], или за счет применения различных форм рабочих камер [64]. Данные смесители имеют низкую эксплуатационную надежность, обусловленную большим

количеством подвижных сопряжений, а также дополнительные затраты энергии на создание закрученного потока воздуха и переизмельчение продукта.

Смесители принудительного действия оснащены смесительными рабочими органами, которые воздействуя на массу исходных компонентов, осуществляют их перераспределение [12].

Достоинство смесителей принудительного действия: высокая производительность; способность приготовления смесей различных физических характеристик; высокое качество перемешивания. Недостатки: высокое энергопотребление; сложность конструкции; износ рабочих органов [12].

По виду перемещения материалов внутри бункера смесителя разделяют на внедрения, перераспределения и циркуляционные.

В смесителях первой группы частицы одного компонента внедряются в зазоры между частицами других компонентов, что может происходить под давлением воздуха, силы гравитации или воздействия вибрации. Установки, использующие давление воздуха для перемешивания компонентов, обеспечивают хорошее качество при производстве рассыпчатых кормосмесей и сухих комбикормов [4], однако при использовании мелкодисперсных компонентов возникает угроза возникновения пожара, взрыва.

В смесителях, работающих по принципу перераспределения, материалы внутри бункера перемещаются хаотически [92, 122, 172]. Продолжительность смешивания в таких устройствах зависит от скорости образования поверхностей сдвига в смешиваемых материалах. Эти смесители имеют производительность в диапазоне 4,8...7,1 т/ч, у них коэффициент неравномерности смешивания составляет 14,2...35,1 % [92, 122, 172]. Достоинствами являются простота конструкции, небольшие энергозатраты и достаточно высокая однородность смеси. У смесителей данного типа имеются недостатки: в результате большого числа пересыпаний смешиваемых материалов внутри бункера может происходить сегрегация отдельных компонентов, при смешивании увлажненных кормов наблюдается их налипание на стенки бункера [4].

В смесителях циркуляционного действия происходит интенсивный процесс смешивания за счет обеспечения возможности многократного перемещения материала внутри бункера. Этот процесс можно охарактеризовать, как конвективное смешивание, когда частицы компонентов перемещаются группами и при этом непрерывно образуют новые поверхности раздела. Поэтому эти смесители могут обеспечить любое нужное качество смеси [95]. Эти смесители разделяют на вертикальные и горизонтальные. Представителями первой группы являются смесители типа F-928 (ФРГ), а также фирмы «Саймон - Баррон» (Великобритания). Их достоинством является сравнительно небольшая продолжительность процесса смешивания, кроме того, такие смесители занимают незначительную площадь производственного помещения.

По типу рабочих органов смесители можно разделить на пропеллерные, барабанные, планетарные, битерные, гравитационные, лопастные, вибрационные, роторные, скребковые, шнековые, комбинированные [176].

Пропеллерные смесители применяют для интенсивного перемешивания жидкостей, имеющих небольшую вязкость (с динамической вязкостью до 4,0 Па·с), для взмучивания осадков, содержащих до 10% твердой фазы с размерами частиц до 0,15 мм, а также приготовления суспензий и эмульсий [87]. Для пропеллерных смесителей характерны высокое насосное действие и хорошая циркуляция содержимого сосуда при эффективном перемешивании.

Роторные смесители применяют для смешивания сухих кормовых компонентов в небольших производствах, в которых объединяют процессы смешивания и дозирования. В смесителях с быстро вращающимися роторами используется эффект псевдооживления сыпучих материалов, основанный на том, что при большой скорости движения частиц кинетическая энергия отдельной частицы оказывается больше работы, необходимой для преодоления сопротивления сил трения и сил тяжести. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность [92, 143]. В зависимости от конструкции ротора смесители этого типа разделяют на лопастные [34, 141, 142], дисковые [92], с вращающимся конусом [95 – 129]. Частота вращения мешалок $1 \dots 10 \text{ с}^{-1}$ [41, 143, 170].

К преимуществам роторных смесителей можно отнести небольшую металлоемкость, простоту устройства; высокую однородность смешивания (до 95%). Рабочие органы обеспечивают полную саморазгрузку за короткий промежуток времени - 15...30 секунд [114].

Недостатками роторных смесителей, независимо от конструкции ротора, являются: высокие удельные затраты энергии на процесс смешивания, высокое истирающее воздействие на компоненты смеси вследствие большой частоты вращения рабочих органов.

Для приготовления композиций из сыпучих материалов с добавками небольших количеств жидкостей, а также материалов с большой липкостью нашли применение в промышленности плужковые смесители, относящиеся к одновалковым червячно-лопастным рабочим органам [92].

При вращении вала смешиваемые компоненты перемещаются лемехами плужков от стенок корпуса к его оси по сложной траектории. Частицы, движущиеся от одного лемеха, попадает под действие другого, меняя при этом траекторию движения. За счет этого происходит интенсивное перераспределение частиц смешиваемой массы.

Плугообразные смесители позволяют одновременно смешивать большие объемы сухих компонентов, которые при внесении жидкой фазы подвержены комкованию и налипанию на рабочие органы [115]. Общим недостатком тихоходных лопастных и плугообразных смесителей является длительность приготовления порции корма.

Достоинством смесителей с битерным рабочим органом (КТУ-10, ИСК-Ф-10 и другие) является простота конструкции, а также возможность совмещения процесса смешивания с процессами измельчения и раздачи. Такие смесители более применимы к смешиванию стебельчатых кормов [10, 100, 114].

Червячно-лопастные смесители относятся к универсальным смесительным машинам. В них можно смешивать как увлажненные материалы и пасты, так и сухие рассыпные. Изготавливаются они с одним или двумя валами, на которых смонтированы смесительные элементы.

В зависимости от свойств перемешиваемой массы смесители комплектуются валками той или иной конфигурации: Z-образными валками, которые могут быть использованы в самых разнообразных условиях процесса смешивания; четырехкрыльчатыми валками, предназначенными для перемешивания влажных и пастообразных масс; многокрыльчатыми валками с T-образными лопастями, применяемыми для смешивания сухих и увлажненных сыпучих материалов.

Недостатком червячно-лопастных смесителей является значительный расход электроэнергии на единицу объема готовой смеси, большой износ лопастей валков, большое количество сальниковых уплотнений, трудность чистки, сравнительно малый полезный объем. По этим причинам они не могут быть рекомендованы для смешивания сухих рассыпных материалов.

Еще одной разновидностью смесительных аппаратов являются молотковые смесители, рабочим органом которых служат молотки, шарнирно подвешенные на вращающемся роторе. Смешивание материала в этих устройствах производится под действием свободного или стесненного удара. Характерной особенностью данных аппаратов является то, что наряду со смешиванием происходит интенсивное измельчение компонентов, что в зависимости от зоотехнических требований можно отнести как к достоинствам, так и к недостаткам этих машин.

Шнековые смесители в зависимости от пространственного расположения рабочего органа подразделяются на вертикальные, *наклонные* и горизонтальные. Данная особенность, определяющая способ перемешивания, оказывает непосредственное влияние на результат обработки кормовой смеси и срок эксплуатации самого смесителя [92].

При смешивании запаренной соломенной сечки с концентратами наиболее эффективны рабочие органы с узкими двойными винтовыми лентами, расположенными таким образом, что при вращении они вызывают противотоки продукта.

Смеситель (рис. 1.10) может использоваться как для смешивания сухих компонентов, так и жидкостей [3].



Рисунок 1.10 - Ленточный смеситель

Смеситель СГК-1М оснащен одним валом. На корпусе имеется три патрубка: для подачи мелассы; для присоединения к аспирационной системе; для подачи компонентов [134].

На лопастном валу расположены восемь спиральных лопастей, из которых четыре имеют правую навивку, а внутри них – левую; таким образом, образуются две секции - одна повернута относительно другой на 90 градусов. Для более интенсивного перемешивания под углом к оси вала установлены 12 лопаток. Таким образом, компоненты корма смешиваются спиральными лопастями вала, при этом наружные витки перемещают их вдоль ванны в одном направлении, а внутренние – в обратном. Готовая смесь выгружается через разгрузочный люк в течение 1 минуты.

Смесители со шнековыми рабочими органами: ленточные спирали (одинарные, двойные, тройные); лопастные (лопатки различной формы: прямоугольные, трапециевидальные, сегментные и др.); винтовые (с активным или пассивным каналом обратного хода) - имеют следующие преимущества: низкий удельный расход электроэнергии; высокая производительность на единицу занимаемой площади; небольшая материалоемкость; высокая степень смешивания компонентов; короткое время цикла смешивания; возможен ввод жидких компонентов.

В тех случаях, когда кормосмеситель имеет несколько равноценных по воздействию на смешиваемые компоненты перемешиваемых органов, то его следует отнести к смесительным агрегатам с комбинированным рабочим органом.

Разгрузка смесителей производится как вручную, так и механически. Механическая разгрузка и автоматическое управление уменьшают долю ручного труда и повышают производительность.

В [71] предложена конструкция двухвального горизонтального лопастного кормосмесителя непрерывного действия с оптимальной конструктивной формой корпуса смесителя, который предназначен для приготовления смеси влажных кормов. Анализ процессов, проходящих в смесителе, позволил установить, что оптимальный угол установки лопасти 45 градусов. Основной причиной высокого удельного расхода энергии на смешивание влажных кормов является клинообразный участок, образуемый между торцом лопасти и боковой стенкой корпуса смесительной камеры.

Лопастные горизонтальные смесители С-12, СГК-1М, А1-ДСЖ швейцарской фирмы «Бюлер», голландских фирм «Van Aarsen» (рис.1.11) и «Wynveen International b.p.», американской «Хенз энд Стоуризм», УЗ-ДСП (Воронеж) и ряд других предназначены для приготовления кормовых смесей влажностью 65-85% с запариванием или без запаривания, а также сухих рассыпных кормосмесей [20, 134, 153, 154]. Они имеют один (СГК-1М, «Бюлер», «Van Aarsen», «Хенз энд Стоуризм», «Wyn International b.p.» (рис.1.12)) или два («Van Aarsen», «Wynveen International b.p.», УЗ-ДСП [8, 153, 154, 157] рабочих органа.

Для получения качественной смеси устанавливаются на одном валу спиральные лопасти с левой и правой навивкой с поворотом друг относительно друга на 90° [134] или 120° (рис. 1.13) [179]. Для ввода жидких компонентов от 1-3% [153] до 10% [154, 157] предусмотрены патрубки.

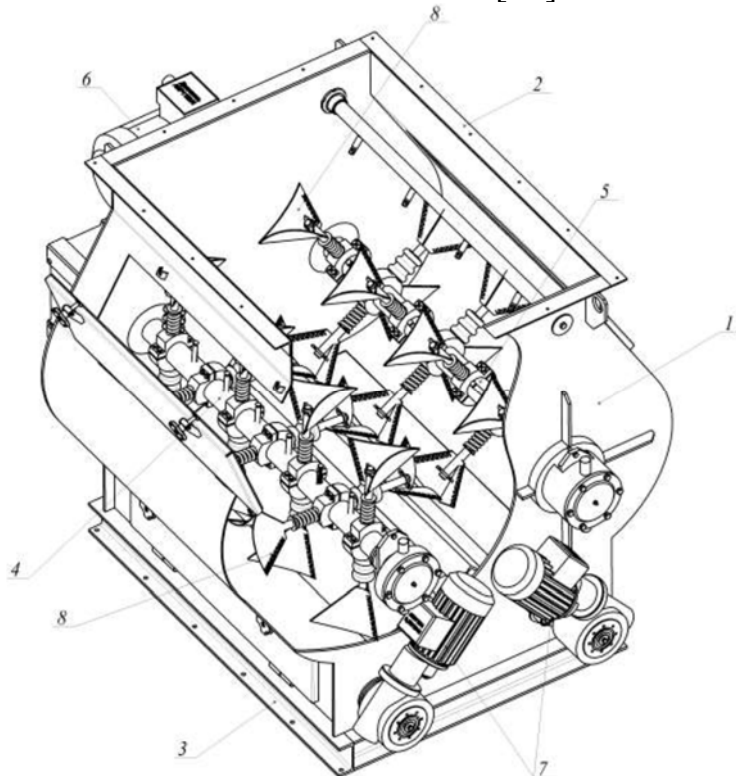
Быстрая разгрузка продукта достигается применением выпускной заслонки типа «Бомболюк». Степень неоднородности получаемой смеси менее 5%, при времени смешивания от 10-60 секунд [20] до 1,5-2 минут [157].



Рисунок 1.11 - Лопаточной смеситель для сыпучих продуктов фирмы «Van Aarsen» [154]



Рисунок 1.12 - Ленточный одновальный смеситель фирмы «Wuyveen International B.V.» [20]



1 - смесительная ванна; 2 - загрузочный патрубок; 3 - разгрузочный патрубок; 4, 5 - вал; 6 - привод лопастных валов; 7 - выгрузки готовой смеси; 8 - лопасти

Рисунок 1.13 – Общий вид двухвального лопастного смесителя [8]

У смесителей «Мультипремикс» (одновального или двухвального), разработанных для смешивания микро- и малых компонентов, других добавок, в том числе жидких, при производстве премиксов и комбикормов. На валу ротора смесителя расположены лопасти, которые можно поворачивать, изменяя их угол атаки и при износе заменять на новые (рис. 1.14) [157]. Конструкция разгрузочного люка позволяет в короткий срок полностью разгрузить ванну смесителя от продукта.



Рисунок 1.14 - Двухвальный смеситель «Мультимикс»: лопасти

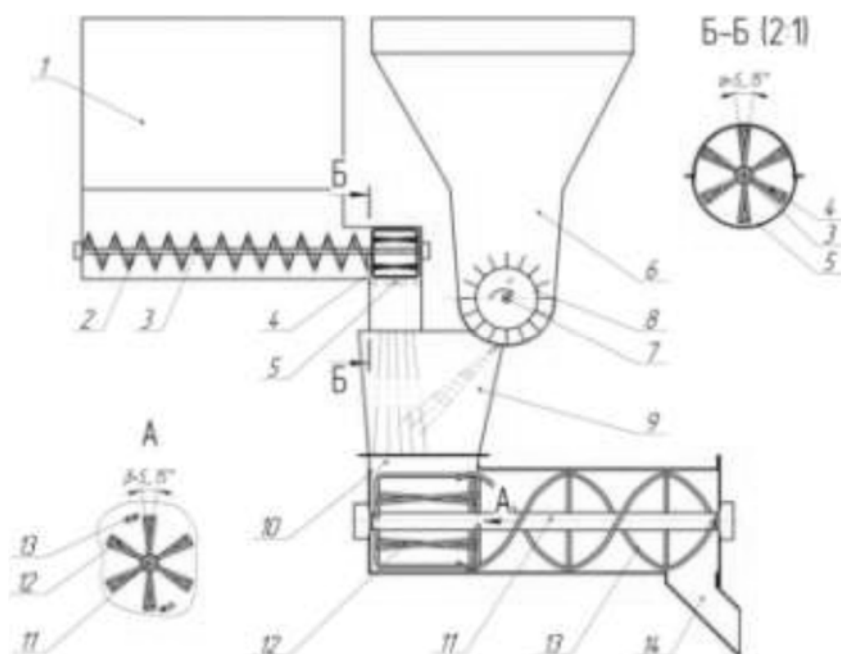
Возможность регулирования угла поворота лопастей относительно их оси позволяет устанавливать наиболее рациональный угол, зависящий от структурно-механических и адгезионных свойств перемешиваемых компонентов смеси [157].

К недостаткам данных смесителей относятся: длительность смешивания; значительный износ стенок смесительной камеры и, как следствие, небольшой срок эксплуатации.

Смесительный агрегат (рис. 1.15) состоит из системы подачи наполнителя (основного компонента) приготавливаемой смеси, системы подачи добавок и системы смешивания компонентов смеси [81].

Улучшенные показатели качества корма, снижение энергозатрат обеспечивается за счет применения ступенчатого смешивания: предварительного смешивания потоков ингредиентов с высокой порозностью (обеспечивающее взаимное проникновение и предварительное смешивание их частиц с малыми энергозатратами и высокой равномерностью подачи ингредиентов), наличие двух участков комбинированного рабочего органа (на двух участках спираль-

ными лопастями мешалки осуществляется усреднение содержания компонентов в смешиваемом объеме, с последующим смешиванием двухзаходным спирально-винтовым конвейером излишков усредняемой смеси в процессе транспортировки и отгрузки).



1 – бункер-питатель; 2 – выгрузной спирально-винтовой шнек; 3 – вал; 4 – ворошитель со спиральными лопастями; 5 – сетка; 6 – бункер-дозатор; 7 – вал; 8 – лопастные барабаны; 9 – камера предварительного смешивания; 10 – камера основного смешивания; 11 – приводной вал; 12 – мешалка со спиральными лопастями; 13 – двухзаходный спирально-винтовой конвейер; 14 – выгрузной лоток

Рисунок 1.15 – Смесительный агрегат

Смесители непрерывного действия относятся к скоростным. В этих смесителях загрузка и выгрузка готовой смеси происходит одновременно [157].

Рабочие органы смесителей непрерывного действия должны обеспечивать продольное и радиальное перемещение масс компонентов, сопровождающееся их смешиванием. Обеспечение процесса продольного смешивания достигается с помощью рабочих органов, создающих встречное движение потоков материала: в двухвальных смесителях — вращением валов с различной частотой, а в одновальных — установкой одного-двух витков с обратным направлением навивки.

Лопастные радиальные рабочие органы смесителей непрерывного действия представлены на рисунке 1.16. Угол α может меняться, вследствие чего изменяются объем и направление перемещения продукта в смесителе. Угловая лопасть (рис. 1.16, *з*) позволяет перемещать продукт одновременно в противоположных направлениях [157].

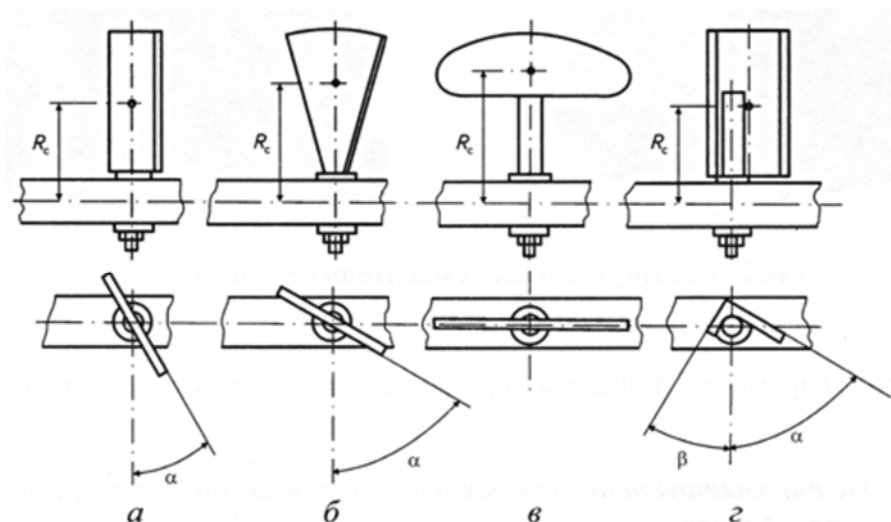


Рисунок 1.16 - Лопастные радиальные рабочие органы

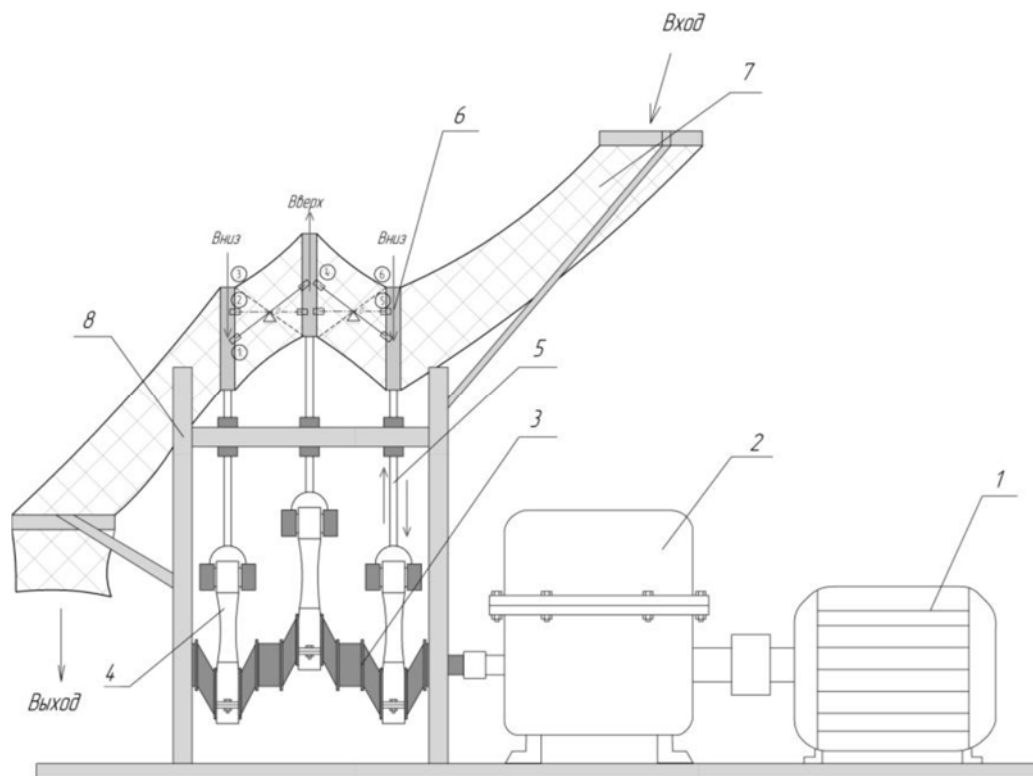
В порционном смесителе кормов СКС-Ф-10 нижний шнек, вращаясь, подает нижний слой вверх. Два верхних шнека, в свою очередь, транспортируют верхний слой массы от середины на края кузова, где масса сыпается вниз. При установке бункера под углом 30 градусов для смешивания кормов требуется на 30 % меньше энергии [134].

Сухановой М.В. [147] разработан смеситель с эластичным рабочим органом для приготовления многокомпонентной сыпучей смеси, представленный на рисунке 1.17, в котором исключается дробление компонентов.

В разработанном смесителе использование высокоэластичного рабочего органа усиливает интенсивность смешивания компонентов за счет циклических колебаний рабочей поверхности и снижает удельную мощность смешивания.

В вертикальном смесителе (рис. 1.18), в котором помимо основного шнека, использован смесительный спиральный элемент, по форме напоминающий многожильную фасонную пружину (2–6 тонких проволок). Педназначен для смешивания измельченного основного компонента с премиксами [164]. Про-

цесс смешивания исходных компонентов протекает в условиях постоянно изменяющихся воздействий, которые влияют на качество готового продукта [108].

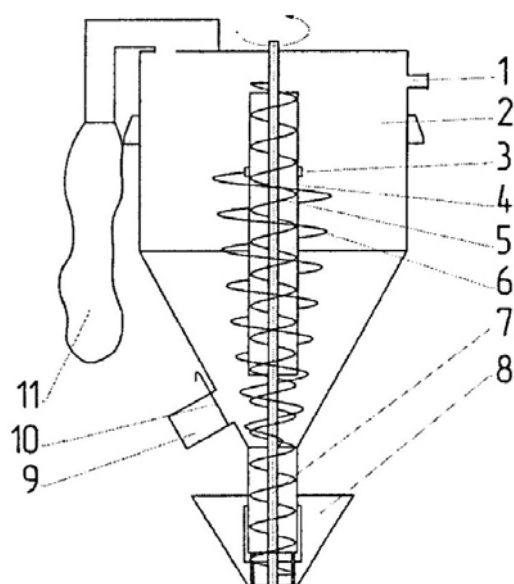


1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – коленчатый вал; 4 – шатун; 5 – вертикальный шток; 6 – хомут; 7 – смесительная камера; 8 – рама

Рисунок 1.17 – Схема смесителя многокомпонентных сыпучих смесей с эластичным рабочим органом

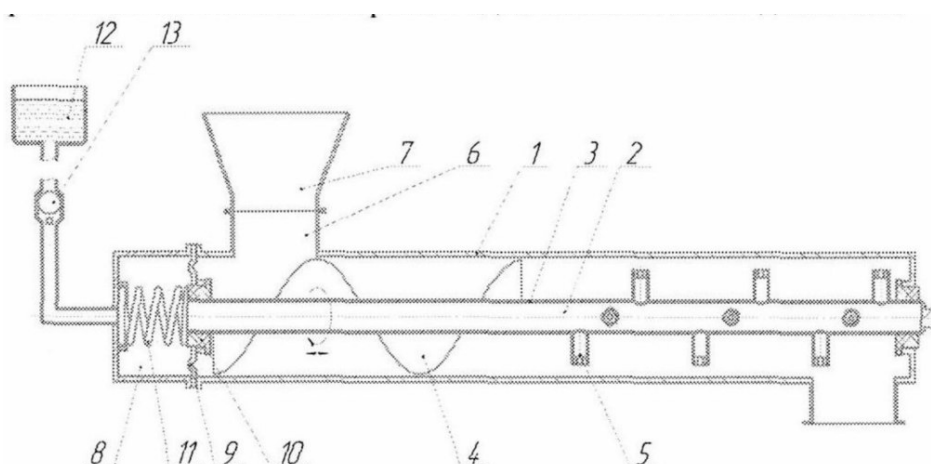
Конструкция смесителя (рис. 1.19) предусматривает одновременно подачу через горловину отжатой мезги и порционную подачу сгущенного экстракта через полости вала и лопасти [125, 163].

В работе [178] разработанная конструктивно-технологическая схема смесителя кормов и микродобавок (рис. 1.20) позволяет за счет применения ступенчатого смешивания сухих компонентов в постепенно увеличивающемся объеме и быстроходных рабочих органов, в сравнении с одноступенчатым процессом перемешивания, сократить длительность приготовления смеси с 240-360 с до 80 секунд, уменьшив энергоемкость перемешивания на 5,6 % при равномерности смеси 92%.



1 – загрузочный патрубок; 2 – смесительная камера; 3 – подвижное соединение; 4 – труба; 5 – шнек; 6 – смесительный спиральный элемент; 7 – вал шнека; 8 – питатель-дозатор; 9 – выгрузной патрубок; 10 – задвижка; 11 – улавливающий фильтр

Рисунок 1.18 – Схема смесителя

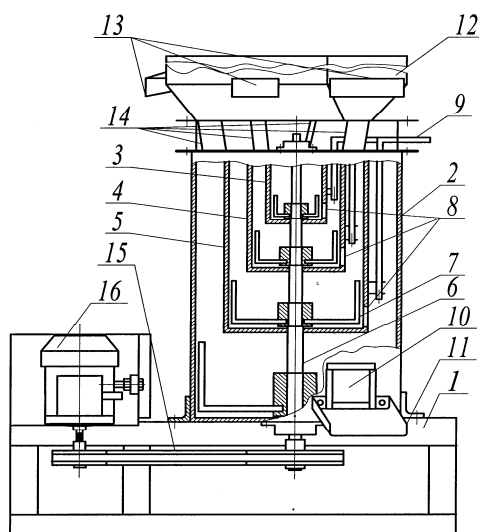


1 - корпус; 2 - шнек-смеситель; 3 - вал; 4 – шнековая навивка; 5 – лопасти; 6 – входная горловина; 7 – приемный бункер; 8 – камера; 9 – мембрана; 10 – опора; 11 – пружина; 12 – емкость; 13 - клапан

Рисунок 1.19 – Схема смесителя

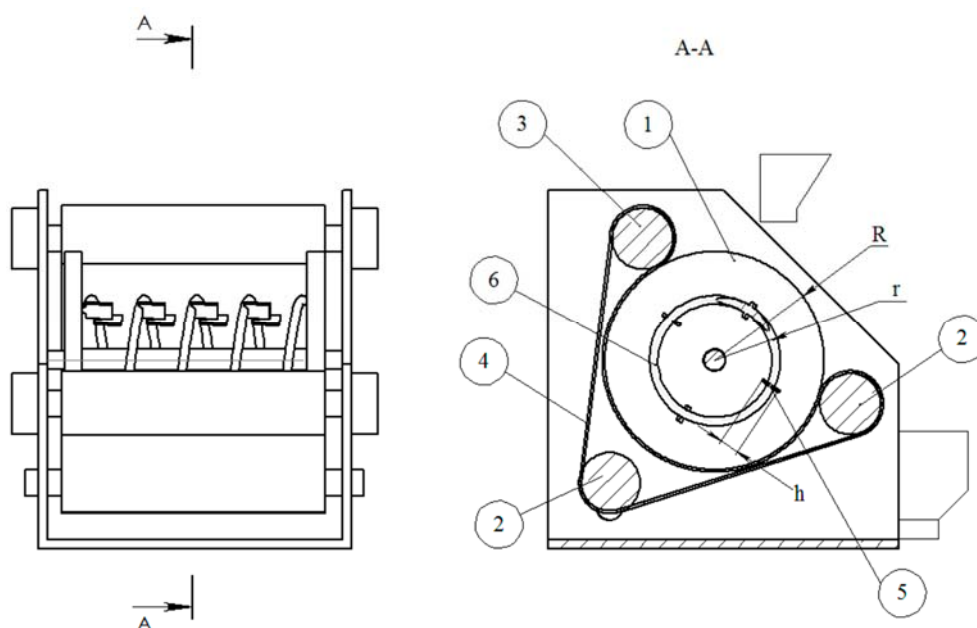
При работе смесителя гравитационно-пересыпного действия открытого типа для подавления сегрегации лопасти 5 проходят через застойную область, локализирующуюся вокруг центра циркуляции, разрушают ее и перемещают материал в область активного смешивания (рис. 1.21). При этом интенсифицируется процесс, повышается однородность получаемой смеси [40, 81]. К недостаткам смесителя можно отнести трудоемкость изготовления ленты с лопастями

ми, а также их невысокую долговечность при знакопеременных нагрузках, которым они подвергаются при работе смесителя.



1 - рама; 2 - корпус; 3, 4, 5 - смесительные емкости; 6 - центральный вал; 7 - мешалка; 8 - заслонка емкостей; 9 - рукоятка; 10 - выгрузная заслонка корпуса; 11 - лоток; 12 - бункер; 13 - заслонки бункера; 14 - гибкий шланг; 15 - клиноременная передача; 16 - электродвигатель

Рисунок 1.20 - Конструктивно-технологическая схема смесителя микродобавок

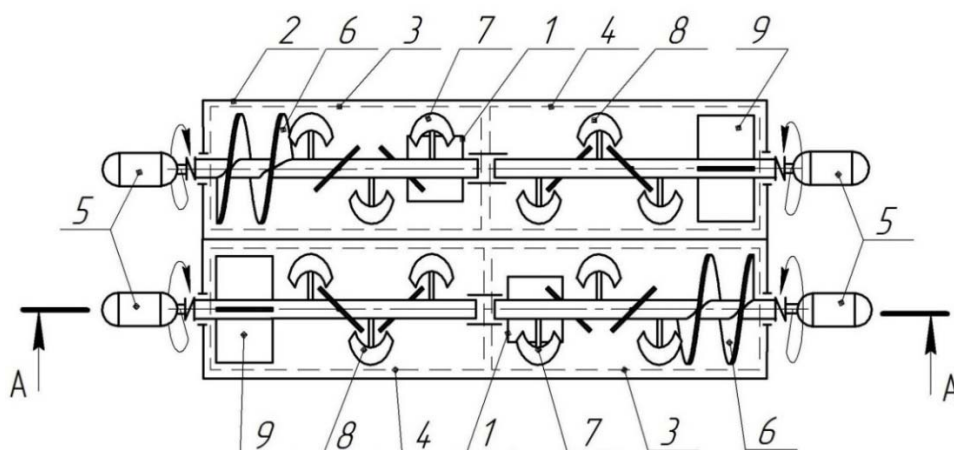


1 – диски; 2 – натяжной ролик; 3 – приводной ролик; 4 – бесконечная лента; 5 – лопасть; 6 – спиральная лента

Рисунок 1.21 - Схема смесителя со вспомогательными лопастями

Примером конструкций смесителей сухих рассыпных кормосмесей с комбинированным рабочими органами (рис. 1.22) является тихоходный смеси-

тель периодического действия с неподвижным прямоугольным корпусом и двумя горизонтально расположенными принудительно смешивающими шнеко-лопастными комбинированными рабочими органами с чередующимися участками, обеспечивающими организованное регламентированное движение компонентов корма и позволяющими сократить время получения качественной смеси со снижением удельных затрат энергии на процесс смешивания [176].



1 – выгрузные патрубки; 2 - корпус; 3, 4 – части рабочего органа; 5 – привод; 6 - винтовая навивка; 7, 8 - перемешивающе-транспортирующие лопатки; 9 - перебрасывающие лопасти;

Рисунок 1.22 - Смеситель кормов с комбинированными рабочими органами

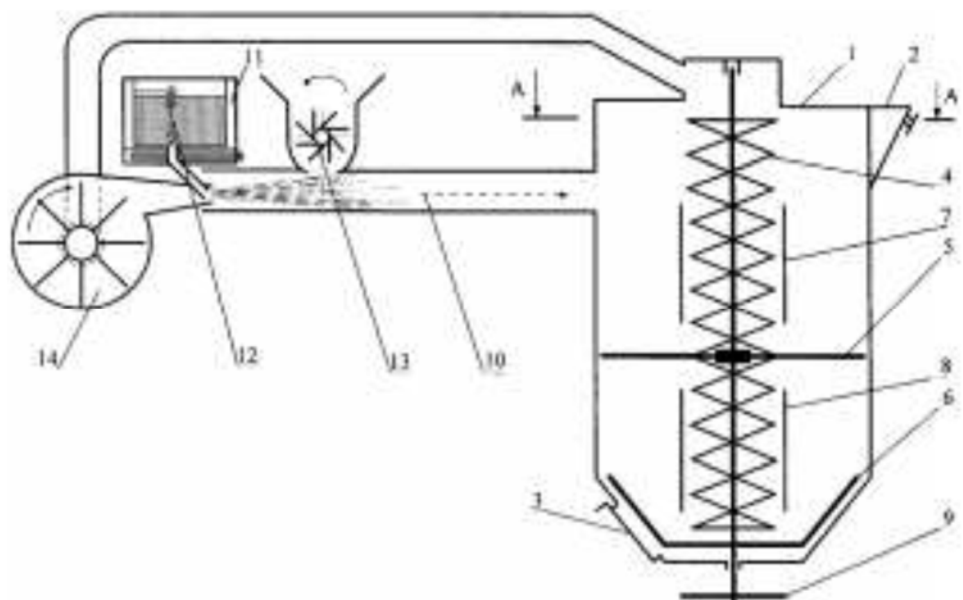
Дополнительно снизить энергозатраты смешивания компонентов можно за счет смесителей периодического действия, выполняющих роль усреднителя (рис. 1.23) [63, 118]:

Недостатками являются: высокая стоимость и металлоемкость используемого оборудования, и не всегда удается достичь высокой однородности смеси.

Другой разновидностью подобных смесителей являются устройства, транспортирующие корм на некоторые (возможно минимальные) расстояния с одновременным смешиванием компонентов. Примером являются винтовые (шнековые, ленточные и т.п.) смесители, а также устройства для смешивания движущихся потоков корма с высокой порозностью и др. [95, 35, 101, 78].

Повышение равномерности смешивания в шнековом дозаторе-смесителе кормов (рис. 1.24) достигается возможностью регулирования угла наклона загрузочного бункера с размещенным в нем смесительным шнеком с лопатками

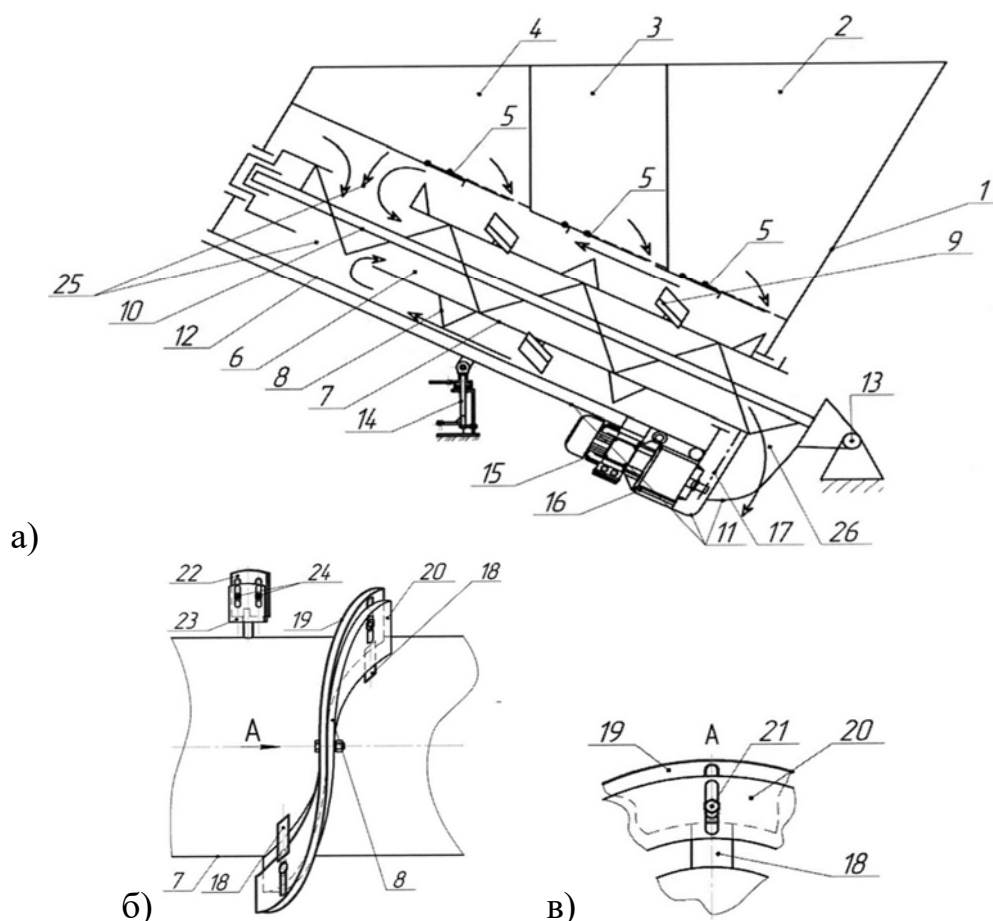
между его витками и неподвижного шнека во вращающемся кожухе, неподвижный шнек установлен внутри полого вала смесительного шнека, выполняющего одновременно роль кожуха неподвижного шнека, витки смесительного шнека выполнены ленточными из двух наложенных друг на друга лент, одна из которых закреплена с возможностью смещения по другой, жестко связанной с полым валом смесительного шнека, изменяя зазор внутренняя кромка витка - наружная поверхность полого вала, а лопатки состоят из двух частей, одна из которых закреплена на другой, жестко соединенной с полым валом, с возможностью смещения по ней и регулировки площади лопатки [117].



- 1-смесительная камера; 2- загрузочный люк; 3-выгрузной лоток;
 4-двухзаходный смешивающий шнек; 5-лопатки; 6-сводоразрушающие
 лопасти; 7-верхний кожух; 8- нижний кожух; 9 – шестерня; 10- кормопровод;
 11-устройство для внесения жировых добавок; 12-регулирующий винт;
 13-емкость плавления жира; 14 – вентилятор

Рисунок 1.23 - Устройство для перемешивания сухих кормов и внесения жировых добавок

Недостатком его является сложность конструкции, высокая материалоемкость, ограниченная возможность дозирования кормов только частотой вращения шнека и кожуха, а также недостаточное качество смешивания сухих и особенно увлажненных компонентов смеси.

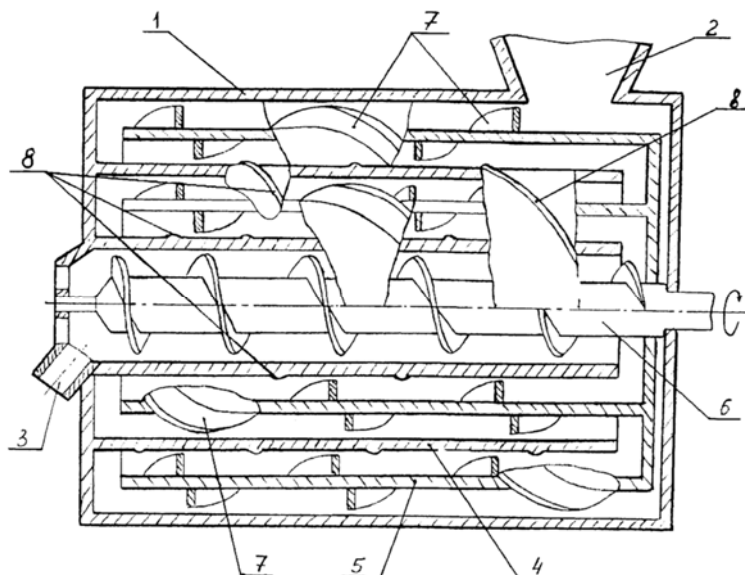


1 – бункер; 2, 3, 4 – секции; 5 – заслонка; 6 – шнек смесительный; 7 – полый вал; 8 – витки; 9 – лопатки; 10 – шнек неподвижный; 11 – рама; 12 – кожух; 13 – шарнир; 14 – механизма изменения угла наклона; 15 – электродвигатель; 16 – редуктор; 17 – цепная передача; 18 – стойка; 19 – неподвижная лента; 20 – подвижная лента; 21, 24 – винт; 22 – подвижная часть полого вала; 23 – неподвижная часть полого вала; 25 – загрузочное окно; 26 – выгрузное окно

Рисунок 1.24 – Шнековый дозатор-смеситель кормов

Устройство для перемешивания (рис. 1.25) работает следующим образом [116]. Масса материала, состоящая из различных компонентов, загружается через загрузочный патрубок и, попав в полость между неподвижным корпусом и вращающимся стаканом, начинает перемешиваться по мере ее прохождения за счет вращения винтовых лопастей. При этом, легкая фракция поднимается вверх, а тяжелая оседает вниз. Далее при переходе массы из одного стакана в другой за счет поворота ее на 180° внутренний слой становится наружным, а наружный – внутренним. При этом тяжелая фаза, оказываясь наверху, постепенно опускается, а легкая, оказываясь в нижнем слое, поднимается вверх. Таким образом, переходом из стакана в стакан за счет поворота массы качествен-

ное смешение достигается не только за счет переворачивания массы, но и за счет рифов, противоположно направленных виткам винтовых лопастей. Масса в последний неподвижный стакан попадает уже качественно смешанной и транспортным шнековым винтом подается на дальнейшие операции.



1 – корпус; 2 – загрузочный люк; 3 – разгрузочный патрубок; 4 – подвижный стакан; 5 - неподвижный стакан; 6 – винтовой шнек; 7 – винтовые лопасти; 8 - рифы

Рисунок 1.25 - Устройство для перемешивания

Основным недостатком данного агрегата является проворот массы на винтовых лопастях, приводящий к ухудшению качества перемешивания наполненных консистентных масс из-за отсутствия устройства, «тормозящего» массу и исключаяющего ее проворот на винтовых лопастях, а также сложность конструкции.

Проанализировав смесители различного типа и конструкций, выявили их основные недостатки: малая производительность, сложность аппаратных решений основных процессов требует высокой квалификации оператора, большая энергоемкость узла смешивания и вероятность заклинивания при попадании посторонних предметов; отсутствие контроля за параметрами смешивания не позволяет выполнять оптимального управления процессом; сложность процесса выгрузки готового продукта и его автоматизации; ручное управление узлами.

С учетом вышеизложенной информации, в качестве образца для исследований и дальнейшей разработки целесообразно принять следующую конструкцию смесителя: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходный; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальный; по расположению рабочего органа – наклонный; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых компонентов – циркуляционный; по типу рабочего органа – шнековый с активным каналом обратного хода.

1.4 Методы анализа и критерии оценки качества смешивания

Для идентификации параметров и проверки адекватности математических моделей процесса смешивания необходима экспериментальная информация о состоянии кормовой смеси в различные моменты времени. Процесс смешивания заключается в распределении частиц одного компонента в объеме частиц другого или других компонентов. В случае двухкомпонентной смеси проникновение частиц компонента *A* под действием рабочего органа в объем компонента *B* приводит к тому, что локальные значения концентрации в объеме смеси принимают определенные значения. Если выделить в объеме смеси равномерным или случайным образом расположенные микрообъемы и проследить за ходом процесса смешивания, то через границы этих объемов будут проходить различные количества частиц компонентов *A* и *B*, а поэтому будет меняться их соотношение (концентрация). Совокупная оценка состояния композиции в этих контрольных объемах характеризует качество смешивания.

1.4.1 Методы анализа качества смешивания кормовых продуктов

Разнообразие существующих методов оценки качества смешивания обусловлено как особенностями свойств перемешиваемых материалов, так и необходимой степенью точности этой оценки. В ходе проводимого анализа смеси

обычно определяют следующие показатели: общее состояние кормовой смеси, ее однородность и гранулометрический состав [74].

В химической технологии стали традиционными методы контроля смешивания по внешнему виду, плотности материала, результатам физико-механических испытаний образцов. Реже применяются анализ микрофотографий, метод электронно-лучевого микронзонда. Указанные методы контроля качества осуществляются только после выгрузки готовой смеси, требуют отбора проб, длительного времени проведения испытаний, и на их результатах отражается влияние ряда побочных явлений – взаимная диффузия компонентов или их расслоение под действием разности плотностей. Данные методы контроля не дают точного представления о процессе и не позволяют оперативно его регулировать. Для осуществления непосредственного контроля за качеством смеси в зоне ее непрерывного потока в ходе приготовления часто пользуются каким-либо физическим параметром, реагирующим на изменения межфазной поверхности с последующим преобразованием этого параметра в электрическую величину и ее регистрацией. Такие электрометрические методы измерения свойств материалов являются достаточно оперативными.

Также нашли распространение следующие способы контроля однородности смеси: электропроводности, окрашивания, химической реакции, меченых атомов, тепловой, оптический.

Метод электропроводности основан на определении изменения электропроводности компонентов в процессе смешивания. О качестве смеси судят по разности показателей электропроводности в точках замера. Метод дает достаточно точные результаты, однако область его применения распространяется лишь на контроль процессов смешивания материалов с высокой влажностью.

Метод химических реакций основан на том, что вследствие добавления химического реагента исследуемый материал либо теряет, либо приобретает цвет. Часто в данном методе используется реакция нейтрализации в присутствии фенолфталеина. Метод удобен для лабораторных исследований, напри-

мер, для выявления застойных зон в смесителе, для чего корпус выполняется прозрачным.

В ряде случаев используется метод меченых атомов. Разность колебаний в показаниях радиоактивности указывает на неравномерность качества смешивания. Сложность аппаратного оформления метода, повышенные требования к технике безопасности при работе с радиоактивными веществами затрудняют его применение.

Тепловой метод заключается в измерении колебаний температуры по объему аппарата. Измерение температуры осуществляется термосопротивлением или термопарами.

Применимость метода ограничивается зависимостью реологических характеристик от температуры, а в ряде случаев экзотермическим характером взаимодействия смешиваемых компонентов.

Разработаны также методы контроля однородности смесей путем введения люминесцирующих добавок, заключающиеся в введении трассера того или иного рода с последующим определением его средней концентрации на выходе аппарата.

Наиболее дешевые и доступные бесконтактные способы оценки качества сыпучей смеси основаны на анализе фотоизображения поверхности образца [2, 89, 181,]. Например, в работе [181] взятые из смеси контактными методом пробы сыпучего материала прессовались в плоские таблетки и сканировались, а полученные цифровые изображения обрабатывались в компьютерной программе для вычисления концентраций ключевого компонента.

Перспективным направлением для оценки однородности является применение наиболее доступного и наименее трудоемкого быстрого метода [89], алгоритм которого реализован в программе *mixap* [2], и контактного отбора проб. Способ заключается в следующем. Производится расчет числа проб и наименьшего объема пробы. Крупный размер пробы не учитывает фактическое распределение частиц ключевого компонента в смеси, а проба, сравнимая с размерами частиц, приведет к погрешностям в расчетах. Отобранные пробы

поочередно распределяют на гладкой ровной поверхности тонким равномерным слоем. Затем производится их фотографирование при высоком разрешении, при одинаковости условий съемки для каждой из проб: экспозиция, фокус, освещенность, светочувствительность, использование макровспышки.

Интерес представляют методы, позволяющие оценить время, необходимое для получения качественной смеси, что, в свою очередь, создает предпосылки для оценки эффективности перемешивающих устройств. Для этого необходимо располагать данными о потребляемой мощности.

Методы измерения мощности, расходуемой на перемешивание, можно разделять на электрические, механические и калориметрические. Электрические методы заключаются в измерении полезной мощности электродвигателя, приводящего в движение перемешивающее устройство, установленное в определенном аппарате. Полезную мощность обычно рассчитывают по разности электрической мощности двигателя с перемешивающим устройством и без него при одних и тех же частотах вращения. Электрические методы измерения не обеспечивают высокой точности, и их следует принять, когда механические потери малы по сравнению с мощностью аппарата.

С помощью механических методов измеряют крутящие моменты, используя динамометры различных конструкций. При этом определяют либо уравнивающий момент во время работы перемешивающего устройства, либо вторичный крутящий момент на статоре электродвигателя. Кроме того, применяют динамометры с магнитоэлектрическим оптометром или определяют крутящий момент непосредственно на валу мешалки.

Калориметрические методы заключаются в непосредственном измерении энергии, затраченной на перемешивание. Для этого используется калориметрический сосуд. При постоянной частоте вращения перемешивающего устройства определяют температуру смеси, которая возрастает приблизительно пропорционально времени перемешивания.

Метод отбора проб, являющийся распространенным способом определения качества смешивания, осуществляется двумя способами: квартованием и точечным отбором.

При первом способе – способе квартования весь корм, приготовленный в смесителе, выгружается на противень, распределяют по нему ровным слоем небольшой высоты, затем всю площадь смеси делят на квадраты, из которых и отбирают пробы в соответствии с принятым методом пробоотбора.

Второй – способ точечного отбора - заключается в следующем. В корпусе исследуемого смесителя делают отверстия, прикрываемые во время его работы пробками и заслонками. После остановки смесителя через эти отверстия внутрь смесителя вводят специальный пробоотборник. Число отверстий в корпусе смесителя делают таким, чтобы можно было взять пробы практически из любой зоны рабочего объема. При этом пробы отбираются так же, как и при способе квартования в соответствии с принятым методом пробоотбора.

Конструкция пробоотборника должна позволять, во-первых, легко вводить его в кормосмесь без нарушений ее структуры, во-вторых, отбирать сразу несколько проб из разных мест смесителя, не позволяя им перемешиваться между собой [21].

1.4.2 Критерии оценки качества смешивания кормовых продуктов

Исследованиям оценки качества смешивания посвящено большое количество исследований: Аблаутов В.М., Александровский А.А., Баранцева Е.А., Земсков В.И., Комаров Б.А., Кукта Г.М., Кулаковский И.В., Макаров Ю.И., Мальцев А.К., Новобранцев Ф.К., Пашевкин О.Б., Сыровотка В.И., Уланов И.А., Финкальштейн А.Ш., Фурса И.И., Шпагин Н.Г. и другие. В настоящее время известно более 30 различных методов, используемых для расчета критерия качества получаемой смеси [6, 9, 16, 61, 62, 76, 86, 87, 92, 94, 109, 122, 148, 149, 159, 168, 172, 180]. Объясняется это тем, что процесс смешивания оказывает влияние множество факторов и некоторой неопределенностью различных понятий и точек зрения в области смешивания сыпучих материалов.

Анализируя смесь на однородность, практически все исследователи принимают смесь двух компонентной, то есть считают один компонент за ключевой (контрольный), а сумму других считают вторым компонентом. Величина, характеризующая распределение ключевого компонента во всей массе, служит оценкой однородности всей массы.

Уланов И.А. [159], Фурса И.И. [172, 173] вычисление однородности кормовой смеси проводили по следующим формулам:

$$\text{для случая } B < B_0, \lambda = \frac{100B}{B_0}; \quad (1.1)$$

$$\text{для случая } B > B_0, \lambda = \frac{100(100 - B)}{B_0}, \quad (1.2)$$

где λ - однородность смеси;

B – фактическое содержание контрольного компонента в пробе;

B_0 – содержание контрольного компонента по рецепту (в идеальной смеси).

Кукта Г.М. [86], Финкальштейн А.Ш. [168], Новобранцев Ф.К. [109] в своих работах определяют степень однородности смеси с помощью формулы А.А. Лапшина:

$$\text{при } B < B_0, \lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{B}{B_0}; \quad (1.3)$$

$$\text{при } B > B_0, \lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(2B_0 - B)}{B_0}, \quad (1.4)$$

где n – число проб.

Формулу для определения качества смешивания порошкообразных материалов предложил R. Chudziriewicz [185]. Используя вращающийся смеситель «Simpson» он провел опыты по смешиванию кварца с окисью цинка, а также кварца с солью. Степень однородности была определена по формуле:

$$\lambda = \frac{\sigma}{\chi}, \quad (1.5)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение концентрации контрольного компонента в смеси до смешивания;

χ - среднее значение концентрации контрольного компонента в пробах.

Земсков В.И. [60] рекомендует выражение, которое имеет вид:

$$\lambda = \frac{\sigma_0 - \sigma}{\sigma_0 - \sigma_r}, \quad (1.6)$$

где σ_0 - среднее квадратическое отклонение контрольного компонента в смеси до смешивания;

σ_r - среднее квадратическое отклонение концентрации контрольного компонента в идеальной пробе;

σ - среднее квадратическое отклонение концентрации контрольного компонента в пробах.

Штальмах Л.И. в ходе теоретических исследований установил характер случайного процесса распределения частиц контрольного компонента в общей массе смеси и получил выражение для определения степени однородности кормовой смеси, получаемой в смесителе периодического действия в виде:

$$\lambda = \frac{\sigma(t)}{\sigma}, \quad (1.7)$$

где $\sigma(t)$ - значение дисперсии для завершеного процесса смешивания;

σ - значение выборочной дисперсии контрольного компонента.

Для определения концентрации контрольного компонента смеси можно воспользоваться уравнением:

$$C(t) = f_n(t) - f_0(t), \quad (1.8)$$

где $f_n(t)$ - скорость процесса собственного смешивания;

$f_0(t)$ - скорость процесса сегрегации.

Из уравнения (1.8) можно заключить, что для сокращения процесса смешивания нужно уменьшать составляющую процесса сегрегации.

В работе [122] предложен критерий, посредством которого можно оценивать показатели неравномерности смешивания при разном числе частиц ключевого компонента в пробе:

$$v_t = \sqrt[3]{v_n^5 \frac{n}{1-P}}, \quad (1.9)$$

где ν_n - коэффициент вариации n частиц контрольного компонента в пробе;

P – концентрация контрольного компонента в пробе.

Анализ исследований [6, 86, 87, 92, 149, 180] процесса смешивания показывает, что наибольшее распространение при оценке качества смешивания получила дисперсия концентрации контрольного компонента σ^2 , определяемая по дифференциально-разностным уравнениям Колмогорова:

$$\frac{d(C_A - m_A)}{dt} = -k(C_A - m_A)^2 + kD_A; \quad (1.10)$$

$$\frac{d(C_B - m_B)}{dt} = -k(C_B - m_B)^2 + kD_B, \quad (1.11)$$

где C_A, C_B - относительные концентрации компонентов A и B ;

m_A, m_B - математические ожидания концентрации компонентов A и B , соответствующие рецептурному значению концентрации компонента в смеси;

k - коэффициент пропорциональности;

D_A, D_B - число объединений частиц A и B .

Тогда степень однородности смеси определится по выражению

$$\lambda = 100 - \sigma^2. \quad (1.12)$$

Качество получаемых механических смесей оценивается коэффициентом k_c (%), определяемым по формуле [12]:

$$k_c = \frac{100}{c_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_0)^2 n_i}{n-1}}, \quad (1.13)$$

где c_i - значение концентрации одного из компонентов в пробах, вес в %;

c_0 - значение концентрации этого компонента при идеально равномерном распределении, вес %;

i - число групповых проб ($i = \frac{n}{n_i}$);

n_i - число проб в каждой группе с одинаковыми значениями;

n - общее число проб.

Величина k_c определяется по компоненту с наименьшей весовой концентрацией c_0 , либо раздельно для каждого компонента.

Процесс перемешивания осуществляется за счет создания в аппарате циркуляционного движения компонентов по перекрещивающиеся траекториям. Повышение производительности смесителей достигается увеличением скорости циркуляции [45] при одновременном усложнении характера движения частиц.

1.5 Обзор теоретических исследований в области смешивания и смесителей сыпучих материалов

Исследования механизированного смешивания кормов, созданием новых и совершенствования существующих смесителей занимаются многие коллективы ученых научно-исследовательских и проектно-технологических институтов, вузов и других организаций.

При разработке новых и модернизации существующих смесительных машин при определении направлений их дальнейших исследований, определяющими являются работы Аблаутова В.М., Александровского А.А., Бойко М.Я., Васильевой Л.Г., Вишневого А.А., Глобина А.В., Гончаревича И.В., Евсеенкова С.В., Завражнова А.И., Ивановой А.П., Кобы В.Г., Комарова Б.А., Коновалова В.В., Кононова Б.В., Кулешова Н.И., Куцына Л.М., Макарова Ю.И., Маргулиса М.Л., Матяшина А.В., Надёжина А.В., Овчинникова В.А., Палкина М.Г., Першина В.Ф., Петряева А.Л., Раскатовой Е.А., Ревякина С.А., Селезнёва А.Д., Смирнова Е.И., Сурковой Л.В., Сыроватки В.И., Талейскина М.Я., Терюшкова В.П., Уланова И.А., Урьева Н.Б., Утолина В.В., Фирсова М.М., Хлыстунова В.Ф., Черкасова, Р.И., Черкуна В.Я., Шпагина Н.Г. и других [6, 9, 21, 36, 37, 38, 39, 56, 59, 64, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 92, 103, 123, 124, 139, 149, 159, 160, 163, 169, 180, 182, 186].

Вопросами изучения процессов смешивания сыпучих материалов занимались исследователи, работающие в химической промышленности. Главным

образом это работы Макарова В.И. [92], Александровского А.А. [9], Першина В.Ф. [139] и ряда других.

Проделанный анализ научных публикаций [9, 72, 92] показывает, что наиболее полно вопрос о влиянии физико-механических свойств компонентов, которые большинство авторов применяют к одним из основных параметров, определяющих протекание процесса смешивания, рассмотрен у Ю.И. Макарова.

Для характеристики физико-механических свойств материала нашли применение следующие параметры: гранулометрический состав, форма частиц, плотность, пористость, удельная поверхность, коэффициент плотности укладки частиц, влажность, сыпучесть, коэффициенты внешнего и внутреннего трения, угол естественного откоса, угол обрушения, сжимаемость, сопротивляемость сдвигу, структурно-фазовая деформируемость и др. Однако ни один из перечисленных параметров не может служить всеобъемлющей характеристикой, которая определяла бы статику и динамику сыпучего материала, которую можно было бы использовать для его классификации.

Кулаковский И.В. [87] в своих исследованиях подразделяет процесс смешивания на следующие элементарные процессы:

- перемещение группы смежных частиц из одного места в другое внедрением, вмятием, скольжением слоев (процесс конвективного смешивания);
- постепенное перераспределение частиц различных компонентов через свежообразованную границу их раздела (процесс диффузионного смешивания);
- сосредоточение частиц, имеющих одинаковую массу, в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (процесс сегрегации).

Сегрегация по своему действию на смесь противоположна первым двум процессам: она ухудшает качество смеси. При перемешивании сыпучих материалов в смесителе одновременно протекают все три процесса.

Исследованиями Евсеенкова С.В. [56] установлено, что работа смешивания пропорциональна квадрату скорости изменения концентрации компонен-

тов, отношению соответствующих объемов и отношению соответствующих линейных размеров. Компоненты целесообразно подавать в зону смешивания не одновременно, а последовательно, так, чтобы соотношение всех смешиваемых компонентов было постоянно равным, а весь суммарный объем оказался бы в зоне смешивания только в последний момент времени цикла. Это позволит снизить продолжительность цикла и повысить однородность смеси.

В работе [107] для оценки работы смесителей предложены коэффициент эффективности и удельной энергоемкости. Коэффициент эффективности представляется в виде выражения:

$$K_э = \left(\frac{\theta}{\theta_{дон}} - 1 \right) \frac{Q}{Q_c}, \quad (1.14)$$

где θ - действительная однородность смеси, %;

$\theta_{дон}$ - допускаемая по зоотехническим требованиям однородность смеси, %;

Q - производительность новой машины, т/ч;

Q_c - производительность базовой машины, т/ч.

Установлено, что угол наклона корпуса смесителя к горизонту оказывает положительное влияние на однородность смеси и отрицательное – на производительность.

Северо-Донецким филиалом НИИХимМаша [131] был разработан руководящий технический материал, в котором в основу классификации сыпучих материалов, используемых в химической промышленности, положен комплексный показатель K_c , расчет которого ведется по формуле:

$$K_c = \frac{1,92t_0}{\gamma_n d_r \text{tg}\beta}, \quad (1.15)$$

где t_0 - начальное сопротивление сдвигу, г/см²;

γ_n - насыпная плотность, г/см³;

d_r - средний размер частиц, см;

β - угол внутреннего трения, град.

Показатель K_c отражает способность связанной сыпучей среды образовывать устойчивые вертикальные откосы и характеризует величину сил внутреннего трения и сцепления в материале.

Хоецяи С.Х. в своей работе [174] определял зависимость коэффициента трения f смеси солома-сено по специальной ленте от влажности и пришел к выводу, что с изменением влажности в пределах 9 – 35 % коэффициент трения изменяется по закону линейной зависимости. Кроме того, увеличению коэффициента трения способствует повышение массы соломы.

В.А. Кохно в своей работе [85] сделал вывод, что коэффициент внутреннего трения покоя зависит от давления, а статический коэффициент трения $f_{\text{п}}$ для мелкоизмельченного силоса, есть величина постоянная, равная 0,75.

Семенихин А.М. [140], работая с силосной массой, обнаружил, что кроме нормального давления и влажности на коэффициент трения влияет размер поверхности контакта.

Платонов В.В., исследуя комбикорм для крупного рогатого скота, установил, что с увеличением влажности происходит уменьшение коэффициента внутреннего f_0 и внешнего $f_{\text{вн}}$ трения по стальной поверхности.

В [71] разработана методика теоретического определения сил сопротивления и потребной мощности двухвальных лопастных кормосмесителей непрерывного действия при смешивании влажных кормов. Мощность двухвального смесителя можно выразить суммой частных мощностей

$$N_{\text{общ}} = N_p + N_{\text{мл}} + N_{\text{ц}} + N_{\text{сц.л}} + N_{\text{сц.к}} + N_{\text{тм}} + N_{\text{ин}} + N_n, \quad (1.16)$$

где N_p - мощность потребная для преодоления сопротивления врезанию лопастей в продукт;

$N_{\text{мл}}$ - мощность потребная для преодоления сопротивления смешиваемого продукта о лопасти;

$N_{\text{ц}}$ - мощность потребная для преодоления сопротивления трения продукта о стенки корпуса, вызываемых центробежными силами;

$N_{сц.л}$ - мощность потребная для преодоления сил сопротивления между продуктом и лопастью;

$N_{сц.к}$ - мощность потребная для преодоления сил сцепления смешиваемого продукта со стенками корпуса;

$N_{тт}$ - мощность потребная для преодоления сопротивления трения, вызываемых силой тяжести смешиваемого продукта;

$N_{ин}$ - мощность потребная для преодоления сил инерции смешиваемого продукта;

N_n - мощность потребная для подъема смеси во время работы смесителя.

Приготовление смеси из сыпучих компонентов, получение максимальной степени совмещения разнородных материалов в конечном продукте, используя знание механических процессов. Наряду с однородностью получаемой смеси важным критерием оценки смесительного оборудования является количество потребляемой энергии [12], которая необходима для получения смеси требуемого качества. Оптимальное сочетание параметров смесителя и свойств перемешиваемых материалов является ключевым условием для достижения максимального эффекта в животноводстве.

Состав сухих рассыпных кормосмесей постоянно совершенствуется из-за усложнения составов. Увеличение количества компонентов, количественный процент которых в общем объеме может достигать 0,5 % и меньше, требует все более совершенного смесительного оборудования, способного обеспечить качество готового продукта.

К технологическим расчетам смесителей относятся [94]:

- определение коэффициента неоднородности;
- определение наиболее рационального времени смешивания.

Производительность смесителя периодического действия определяется по формуле [30]:

$$Q = \frac{V\rho\varphi}{T}, \quad (1.17)$$

где Q - производительность смесителя, кг/с;

V - объем смесителя, м³;

ρ - насыпная плотность кормовой смеси, кг/м³;

φ - коэффициент заполнения;

T - время одного цикла, с.

Время одного цикла перемешивания определяется по формуле:

$$T = t_1 + t_2 + t_3, \quad (1.18)$$

где t_1 - время загрузки исходных компонентов, с;

t_2 - продолжительность смешивания, с;

t_3 - время выгрузки готовой смеси, с.

Для большинства типов смесителей определение энергетических параметров производится по критериальным или эмпирическим зависимостям.

А.М. Ластовцевым и Н.П. Поповым предлагается формула расчета мощности N_k (кВт), потребной для смешивания валом с лопастями [12, 54, 55]:

$$N_k = c_2 + \omega^{2,56} L^{3,5} (b \sin \alpha)^{0,68} H^{0,75} S^{0,19} \rho_n, \quad (1.19)$$

где c_2 - коэффициент сопротивления в режиме псевдооживления, кВт;

ω - частота вращения вала, с⁻¹;

L - длина лопасти, м;

b - ширина лопасти, м;

H - высота слоя материала, покрывающего лопасть, м;

α - угол атаки лопасти, град;

S - зазор между лопастями и корпусом смесителя, м;

ρ_n - насыпная плотность смешиваемого материала, кг/м³.

Данная методика применима для машин с вертикальным расположением вала, работающего на высоких скоростях.

В [53] предложена формула для определения потребляемой мощности в шнековых планетарных смесителях:

$$P = 1,15 \cdot 10^{-3} c \cdot n_{ш} \rho_n F_{y0} L_p (4 \sin^2 \beta + 1), \quad (1.20)$$

где c - коэффициент сопротивления, который определяется экспериментально;

$n_{ш}$ - скорость вращения шнека вокруг собственной оси, мин^{-1} ;

L_p - рабочая длина шнека, м;

$F_{y\partial}$ - удельная поверхность шнека, $\text{м}^2/\text{мм}$;

β - угол конусности корпуса усреднителя, град.

Коэффициент сопротивления c зависит от физико-механических свойств смешиваемых материалов. Предлагаемая методика наиболее близко подходит для смесителей планетарного типа с конусной формой рабочей камеры и рабочим органом в виде шнековой поверхности.

Энергозатраты смесителя определяются по выражению:

$$N_{y\partial} = \frac{N \cdot t}{m}, \quad (1.21)$$

где $N_{y\partial}$ - удельные энергозатраты, Вт с/кг;

N - потребляемая мощность, Вт;

t - время смешивания, с;

m - масса одной загрузки смесителя, кг.

В [81] аналитически выявлены закономерности влияния конструктивных и кинематических параметров комбинированных (спирально-винтовых) рабочих органов питателя и смесителя концентрированных кормов на массовую подачу (производительность), потребляемую мощность и удельные энергозатраты на смешивание концентрированных кормов. Получены экспериментальные значения наименьших удельных энергозатрат питателя и наилучшего качества смеси от конструктивных, кинематических и технологических параметров смесительного агрегата.

Диаметр ленточного смесителя определяется по формуле [80]:

$$D_b = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi S \psi}}, \quad (1.22)$$

где S - соотношение диаметра емкости с ее высотой при цилиндрической форме емкости, 1...5;

ψ - коэффициент заполнения емкости, непрерывного принципа действия – 0,3...0,5; периодического – 0,6...0,7;

V - объем бункера, м³.

Диаметр смешивающего рабочего органа, м [19, 80]:

$$D = D_b - 2S_1, \quad (1.23)$$

где S_1 – зазор между кожухом и рабочим органом, 2...3 мм.

Мощность привода, кВт:

$$N_{см} = \frac{0,01 \cdot \psi}{0,25 \cdot \eta} K \cdot Q_{\max} \cdot L, \quad (1.24)$$

где η – КПД привода;

K – приведенный коэффициент сопротивления движению корма относительно ленты шнека. Для комбикормов $K=1,2$;

L – длина смесителя, м;

Q_{\max} – максимальная производительность ленточного шнека, кг/с.

Исследования процесса смешивания, свойств применяемых кормовых компонентов, а также производственная практика позволяют сделать вывод, что не удалось в исследованиях выявить влияние конструктивно-кинематических параметров винтовых рабочих органов с активным каналом обратного хода на показатели качества смешивания (коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах смеси), производительность и энергозатраты, определяемых в соответствии с действующей нормативно технической документацией.

1.6 Выводы, цель и задачи исследования

В современных условиях перспективным направлением в практике содержания животных является нормирование их кормления полностью сбалансированными по всем питательным веществам и элементам.

Различия физических и реологических характеристик кормовых смешиваемых компонентов требует подробного изучения отдельных характеристик оборудования, отвечающих за скорость протекания процесса и влияющих на

конструктивное оформление смесителей и режимов работы смесительного оборудования.

При смешивании разнородных компонентов основным препятствием к достижению качественных смесей является сегрегация компонентов друг в друге. При наличии сегрегации можно говорить лишь о максимально возможной однородности, достигаемой при оптимальном времени смешивания, которая далеко не всегда удовлетворяет технологическим регламентам. Поэтому необходим поиск научно обоснованных путей снижения негативного влияния сегрегации на формирование качества смесей и повышение максимально возможной их однородности при минимальных удельных затратах энергии и времени смешивания.

Обзор и анализ конструкций смесителей кормов показал, что на фермах используется довольно значительное количество разнообразных кормосмесителей, однако лишь некоторые из них способны выдавать корма надлежащего качества смешивания.

Рядом научных учреждений, конструкторских бюро, аспирантами, специалистами и рационализаторами хозяйств сделаны довольно успешные попытки в создании опытных образцов аппаратов для смешивания кормовой массы. Применение активного рабочего органа повысит эффективность данного смесительного аппарата по сравнению со смесителями без активного канала обратного хода.

За основу при разработке технологического процесса в качестве образца для исследований и дальнейшей разработки целесообразно принять следующую конструкцию смесителя: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходный; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальный; по расположению рабочего органа – наклонный; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых

компонентов – циркуляционный; по типу рабочего органа – шнековый с активным каналом обратного хода.

В качестве рабочей гипотезы при решении научно-технической задачи повышения эффективности смесителей кормов примем предположение о том, что применение смесителя периодического действия со шнековым рабочим органом и активным каналом обратного хода за счет сложного движения кормовой смеси: обеспечит высокое качество смешивания; повысит технологическую надежность работы смесительных агрегатов; снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции комовой смеси.

На основании приведенного обзора и анализа исследований в области смешивания и смесителей сыпучих материалов можно сделать следующие выводы:

- при приготовлении кормов животным должен предусматриваться процесс смешивания порций корма, определяющий качество технологического процесса приготовления и, в конечном итоге, продуктивность животных;

- из спектра оценочных критериев качества смешивания следует принимать коэффициент неравномерности и удельные за затраты энергии.

- большинство реальных процессов сложны, имеющиеся научные исследования позволяют решить такие вопросы, как определение мощности привода, производительности смесителя, выбор типа смесителя от физико-механических свойств компонентов смеси и ряд других;

- выполненные отмеченными авторами исследования заключаются в решении большей частью частных вопросов, связанных с изучением конкретных кормосмесительных машин и их отдельных рабочих органов;

- создание смесительного оборудования базируется в основном на эмпирических данных, причем рассматриваются лишь небольшое количество основных типов смесителей, применение физического и математического моделирования возможно лишь в некоторых случаях из-за сложности процесса смешивания;

- качества готового продукта может быть достигнуто за счет интенсификации энергетического воздействия на смешиваемые компоненты.

Некоторые сведения при описании работы шнековых смесителей содержат рекомендации, не учитывающие современного состояния в области конструирования и эксплуатации смесителей со шнековыми рабочими органами.

Требуется уточнение выражений для определения мощности, производительности и удельных затрат энергии от конструктивных параметров шнековых рабочих органов с участками взаимопроникновения потоков кормовой смеси, режимов их работы, угла наклона к горизонту, физико-механических свойств кормов. Это относится и к коэффициенту наполнения.

В связи с чем целью настоящей работы является снижение удельных затрат энергии в шнековом кормосмесителе за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов, совершенствования рабочего органа и оптимизации его параметров.

В соответствии с поставленной целью в работе необходимо решить следующие задачи:

- обосновать перспективную конструктивно-технологическую схему шнекового смесителя комбикормов с пониженными удельными энергозатратами при сохранении качества в соответствии с зоотехническими требованиями;

- провести теоретические исследования технологического процесса предложенного смесителя с обоснованием его основных конструктивно-технологических и режимных параметров;

- выполнить экспериментальные исследования по изучению влияния частоты вращения рабочих органов, времени смешивания и угла установки корпуса к горизонту на показатели качества и энергозатрат технологического процесса смесителя и оптимизации его конструктивно-технологических и режимных параметров;

- разработать опытный образец смесителя кормов, испытать его в производственных условиях, дать технико-экономическую оценку эффективности его использования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА

Теоретические исследования направлены на выявление общих закономерностей технологического процесса, обеспечивающих качественное смешивание кормов, а также выявление влияния конструктивно-технологических и режимных параметров смешивающего органа, как основного структурного элемента, предложенного смесителя.

2.1 Факторы, влияющие на показатели качества и энергозатрат процесса смешивания

На процесс смешивания оказывает влияние большое количество факторов [92, 176], условно состоящих из следующих групп (рис. 2.1):

1) Физико-механические и реологические свойства компонентов смеси: влажность, гранулометрический состав компонентов; коэффициенты внутреннего и внешнего трения; соотношение смешиваемых компонентов; насыпная плотность корма и ряд других;

2) Конструктивно-технологические параметры: рабочий объем камеры; коэффициент заполнения корпуса; соотношение диаметров шнеков; шаг шнека; частота вращения, время смешивания, угол наклона корпуса и ряд других;

3) Режимные параметры: частота вращения, время смешивания, угол наклона корпуса.

Приоритетными являются свойства смешиваемых компонентов, затем определяется способ смешивания, а затем конструкция и режим работы смесителя.

Полученная математическая модель, учитывающая сложность процесса, многокомпонентность смеси, качество готового комбикорма, позволяет разрабатывать оптимальные и рациональные конструктивно-технологические и ре-

жимные параметры шнекового смесителя с активным каналом обратного хода при приготовлении сухого рассыпного комбикорма.

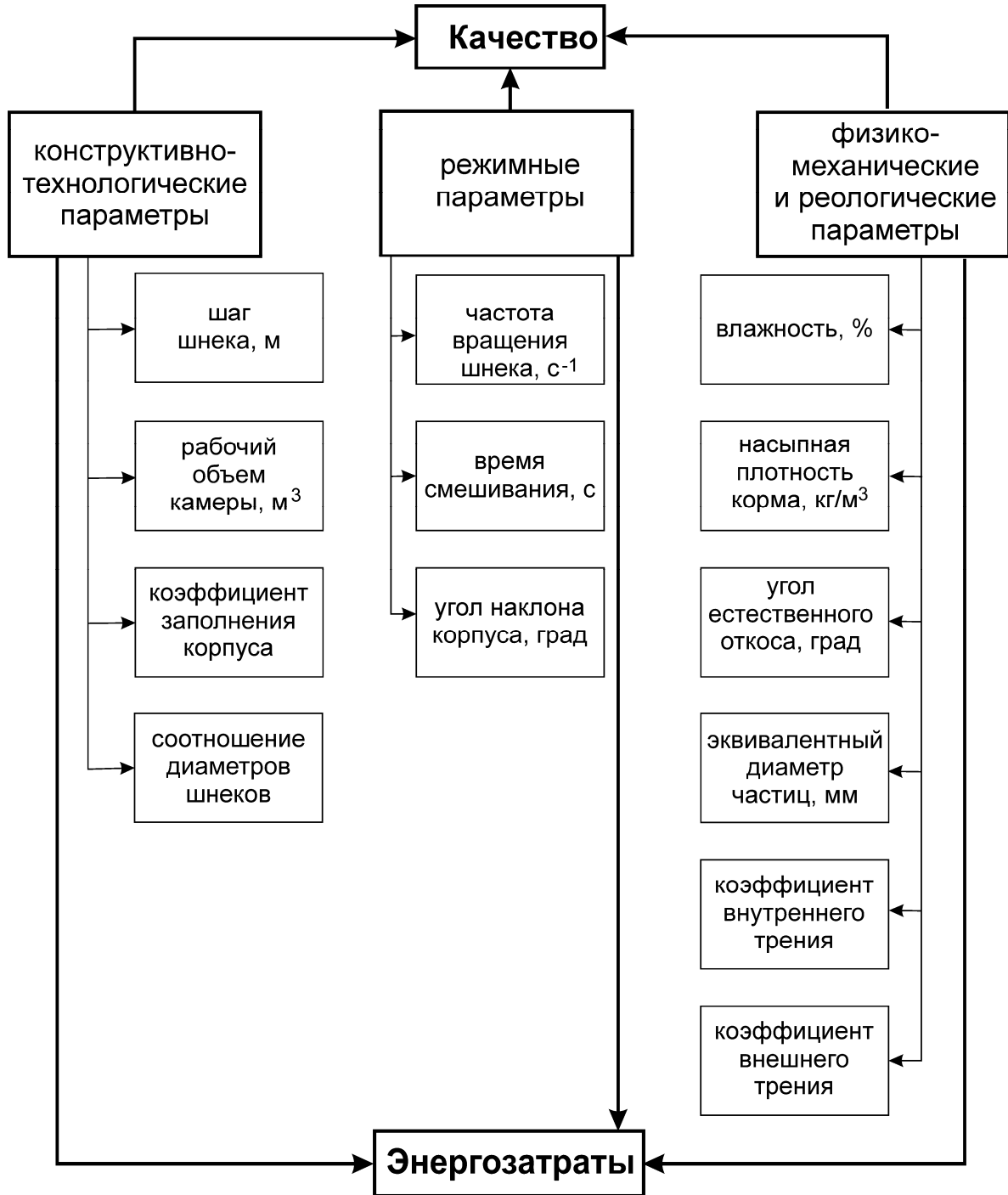


Рисунок 2.1 – Структурная схема модели

Эффективная работа смесителя определяется требованиями [176]

$$\begin{cases} Q_{\phi} \geq Q_{mp} \\ v_{\phi} \leq [v_{зот}], \\ N_{y\partial} \rightarrow \min \end{cases} \quad (2.1)$$

где Q_{ϕ} и $Q_{\text{тр}}$ - фактическая и технологическая (определяемая условиями технологического процесса) производительность смесителя соответственно, кг/с;

$V_{\phi}, [V_{\text{зоот}}]$ - фактическая и зоотехническая неоднородность смеси, %;

$N_{\text{уд}}$ - удельные энергозатраты на процесс смешивания, Вт·с/кг.

2.2 Описание конструктивно-технологической схемы предлагаемого шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

В основу конструктивно-технологической схемы кормосмесителя были положены следующие решения:

- смешивающий орган, который представляет собой шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода;

- внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с валом, имеющий участок пересыпания с плоскими лопатками вдоль вала; напротив лопаток в канале обратного хода имеются отверстия в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма;

- напротив отверстий в канале обратного хода на валу шнека установлены плоские лопатки;

- в конце шнека закреплены тангенциально лопасти с наклоном навстречу движения корма;

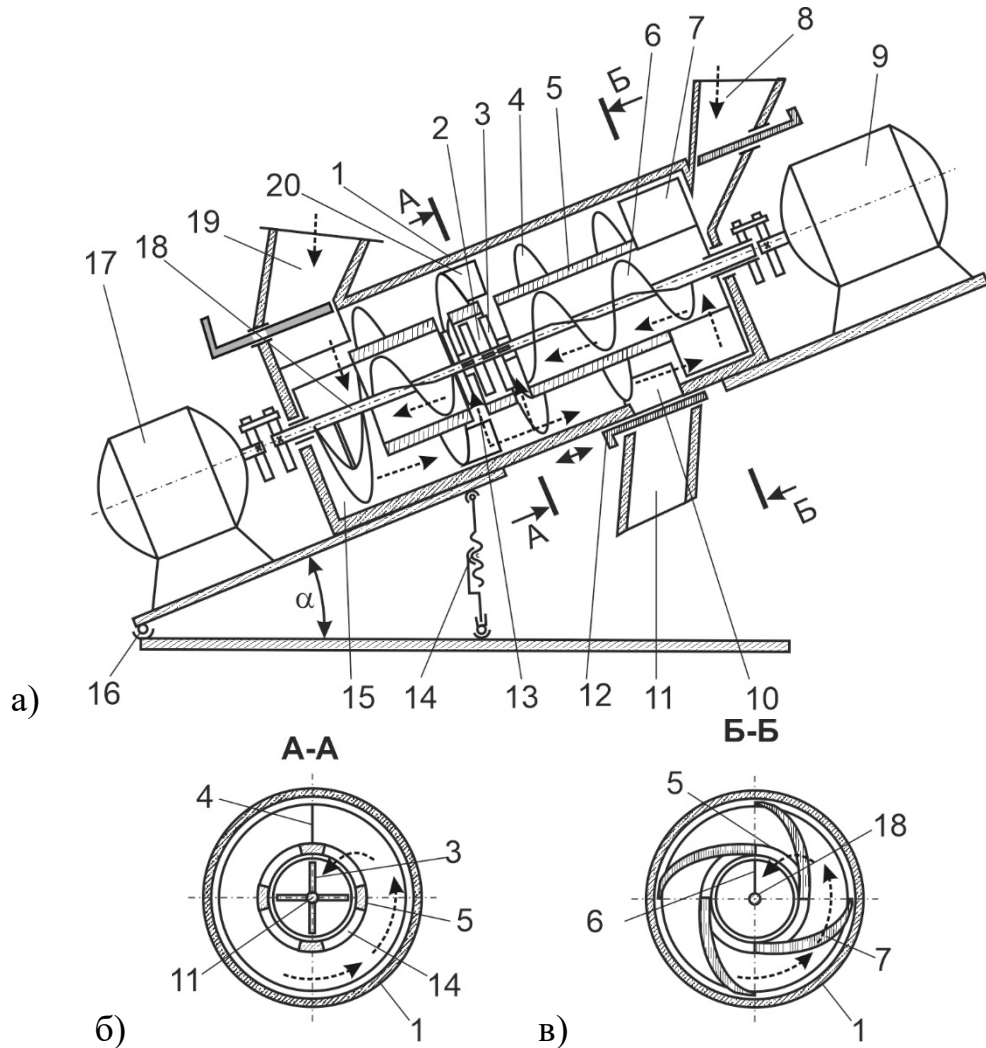
- механизм изменения угла наклона корпуса к горизонту.

Предлагается тихоходный смеситель с активным каналом обратного хода [31, 69, 119, 120]. Схема этого смесителя приведена на рис. 2.2 (прилож. А1, прилож. И1).

Смеситель включает корпус 1, загрузочный бункер 19, бункер добавок 8 и выгрузной патрубков 11, перекрываемый заслонкой 12, шнек 4, загрузочная 15 и выгрузная 10 части которого соединены каналом 5 обратного хода, расположенного внутри шнека 4 (рис. 2.2, а, б, в). Внутри канала 5 обратного хода

установлен дополнительный шнек 6 с валом 18, имеющий участок 2 пересыпания с плоскими лопатками 3 вдоль вала 18.

Напротив лопаток 3 в канале 5 обратного хода имеются окна 13 в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма. Напротив окон 13 на валу шнека 4 установлены плоские лопатки 20.



а – схема; б – разрез А-А; в – разрез Б-Б

1 - корпус; 2 – участок пересыпания; 3 – лопатки; 4 – шнек; 5 – канал обратного хода; 6 – дополнительный шнек; 7 – тангенциальные лопатки; 8 – бункер добавок; 9, 17 – приводы; 10 – выгрузная часть шнека; 11 – выгрузной патрубок; 12 – заслонка; 13 – окна; 14 – винтовой механизм; 15 – загрузочная часть шнека; 16 – ось; 18 – вал; 19 – загрузочный бункер; 20 – плоские лопатки

Рисунок 2.2 – Шнековый смеситель с активным каналом обратного хода (патент РФ № 2705334, полезная модель РК № 6448)

В конце шнека 4 закреплены тангенциальные лопасти 7 с наклоном навстречу движения корма. Механизм изменения угла α наклона корпуса 1 к

горизонту включает установленный на оси 16 корпус 1 и винтовым механизмом 14.

Для выгрузки корма имеется патрубок 11, перекрываемый заслонкой 12. Шнек 4 и дополнительный шнек 6 имеют приводы 9 и 17 соответственно.

Технологический процесс работы смесителя осуществляется таким образом. Смешиваемые компоненты из многосекционного загрузочного бункера 19 поступают в загрузочную часть 15 корпуса 1. Одновременно добавки из бункера 8 подаются в канал 5 и затем дополнительным шнеком 6 в загрузочную часть 15 корпуса 1. Шнек 4 перемещает смешиваемые компоненты из загрузочной части 15 по наклонному корпусу 1 вверх к участку пересыпания, на котором часть корма захватывается плоскими лопатками 20 и через окна 13 частично пересыпается в канал 5 обратного хода на дополнительный шнек 6, а часть корма по наклонному корпусу шнеком 4 перемещается вверх к выгрузной части 10. При этом под действием шнековой навивки происходит перемешивание компонентов смеси.

В выгрузной части 10 шнека 4 кормовая смесь поднимается тангенциальными лопастями 7 и пересыпается в канал 5 обратного хода. Для исключения сегрегации при самопроизвольном пересыпании корма величина угла α наклона корпуса 1 устанавливается винтовым механизмом 14 меньше угла трения корма. Перемещение компонентов корма внутри канала 5 обратного хода от выгрузной части 10 к загрузочной части 15 происходит под действием дополнительного шнека 6 и вращения канала 5 обратного хода.

На участке 2 пересыпания под действием вращающихся лопаток 3 корм перемешивается с поступающим через окна 13 кормом из шнека 4 и по каналу 5 обратного хода перемещается в загрузочную часть 15 шнека 4.

Таким образом образуются два циркулирующих и взаимопересекающихся кормовых потока: первый поток - от загрузочной части шнека 4 до окон 13, через которые на участок 2 пересыпания дополнительного шнека 6 и затем дополнительным шнеком к загрузочной части шнека 4; второй поток - от загрузочной части шнека 4 до тангенциальных лопаток 7, под действием которых

корм пересыпается в дополнительный шнек 6 и затем дополнительным шнеком к загрузочной части шнека 4.

По окончании перемешивания открывается заслонка 12 и готовая смесь выгружается через патрубок 11.

В результате принятой схемы смесителя снижается время смешивания за счет разделения и соединения потоков кормовой смеси на участке пересыпания при движении по каналу обратного хода под действием лопаток в дополнительном шнеке и окон в канале обратного хода, а также взаимопроникновению потоков материала при движении кормосмеси под действием шнека от участка загрузки к участку выгрузки.

2.3 Обоснование параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

Основным оценочным показателем смесителя кормов является качество смешивания ингредиентов корма, зависящее от множества показателей.

В смесителях непрерывного действия процесс загрузки, смешивания и выгрузки компонентов происходит непрерывно в едином потоке, и качество смешивания достигается за один проход смеси через рабочий объем смесителя [24, 25, 30, 31, 69].

В смесителях периодического действия порцию смешиваемых компонентов загружают через загрузочный люк до заполнения 50-60% полезного объема смесителя. Интенсивное перемешивание кормовой смеси начитается после закрытия загрузочного люка. Выгрузка готовой смеси из корпуса осуществляется через выгрузное окно [24, 25, 30, 31, 69].

В предлагаемом смесителе перераспределение компонентов осуществляется за счет пересыпания, перетекания компонентов в объеме, ограниченном корпусом смесителя. При этом направление скоростей и ускорений, которым обладают различные микрообъемы смеси различны. На элементарные частицы в объеме действуют силы тяжести, центробежные силы и силы инерции. Цен-

тробежные силы и силы инерции переменны по величине и направлению потока.

2.3.1 Определение полезного объема смесителя

Размер и объем смесителя являются важными параметрами, определяющими его удельную металлоемкость, а также влияющими на объем корма в смесителе [24, 25, 30, 31, 69].

Полезный объем смесителя найдется из выражения [176]:

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

где V_{nc} - полезный объем смесителя, м³;

$V_{общ}$ - объем смесителя, м³;

V_{po} - объем, занимаемый рабочими органами, м³;

φ_{po} - коэффициент, учитывающий объем рабочих органов.

Оттуда:

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

Общий объем смесителя, согласно описания (см. рис. 2.2, 2.3) составляет:

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

где D_1 - наружный диаметр шнека, м;

δ_1 - зазор между винтом шнека и корпусом смесителя, м; Зазор между шнеком и корпусом обычно составляет $(2...3) \cdot 10^{-3}$ м [29, 52, 130, 146];

$L_{см}$ - длина камеры смесителя, м.

Объем рабочих органов смесителя, согласно описания (рис. 2.2, 2.3):

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

где $V_{ш}$ - объем, занимаемый шнековой навивкой, м³;

$V_{тан}$ - объем, занимаемый тангенциальными лопатками, м³;

$V_{дон1}$ - объем, занимаемый винтовой навивкой дополнительного шнека на участке L_{14} , м³;

$V_{диф}$ - объем, занимаемый лопатками, м³;

$V_{дон2}$ - объем, занимаемый винтовой навивкой дополнительного шнека на участке L_{12} , м³;

$V_{вал1}$ - объем, занимаемый валом шнека, м³;

$V_{вал2}$ - объем, занимаемый валом дополнительного шнека, м³.

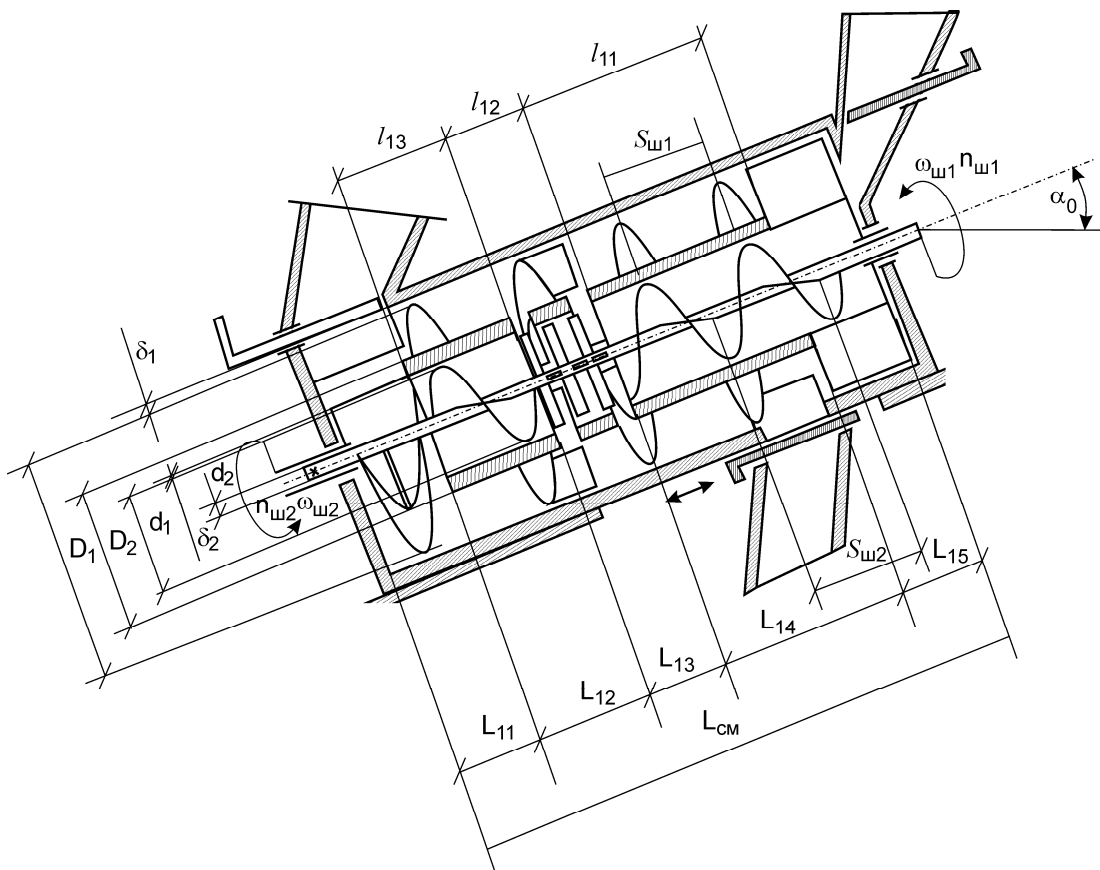


Рисунок 2.3 – Расчетная схема смесителя

Витки шнековой навивки изготавливаются из стальной плоской кольцевой заготовки толщиной $(1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-3}$ метра с радиальным вырезом [52]. При изгибании заготовки она превращается в виток (рис. 2.4).

Объем, занимаемый шнековой навивкой, определяется по выражению:

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

где $V_{шв}$ - объем, занимаемый одним витком шнека, м³;

$K_{шв}$ - количество витков шнека, шт.

Количество витков шнека определяется (рисунок 2.3):

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

где L_{11} , L_{12} , L_{13} , L_{14} - длина загрузочной части шнека, между участком загрузки и участком пересыпания, участка пересыпания, между участком пересыпания и участком тангенциальных лопаток соответственно, м;

S_1 - шаг шнека, м.

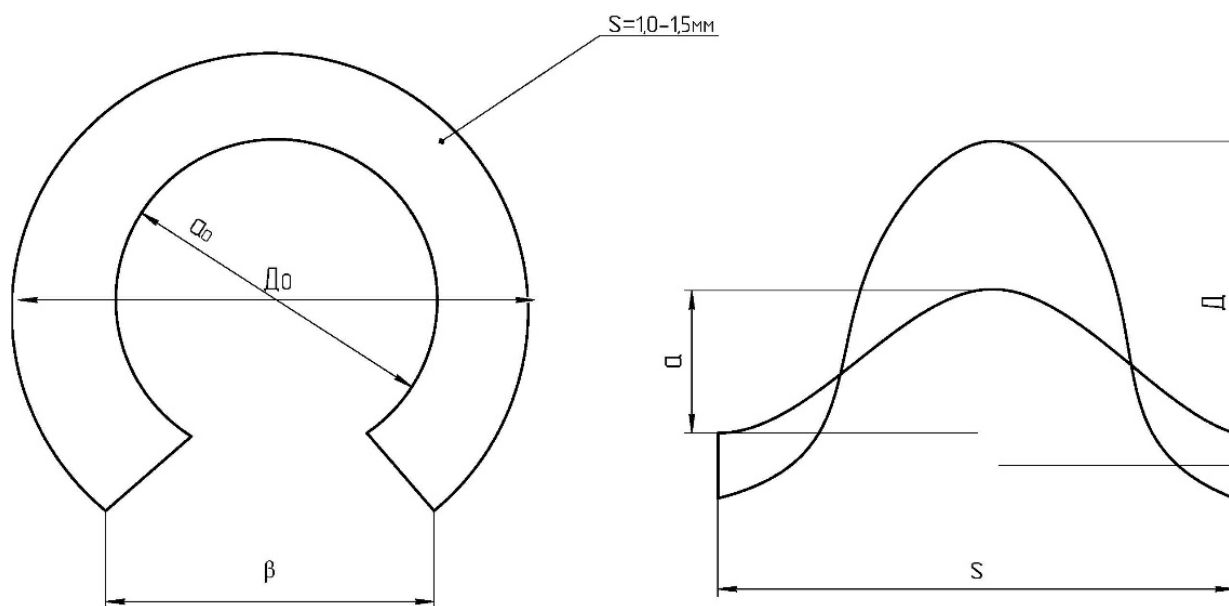


Рисунок 2.4 – Основные параметры развертки витка шнека

Объем, занимаемый одним витком шнека, определяется [52, 100, 130]:

$$V_{шв} = S^* \cdot \frac{\pi}{4} (D_{ш1}^2 - D_{ш2}^2) \cdot \left(\frac{360^\circ - \beta_{ш}}{360^\circ} \right), \quad (2.8)$$

где S^* - толщина стальной заготовки, м. В соответствии [52]

$$S^* = (1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$D_{ш1}$ - наружный диаметр заготовки шнека, м;

$D_{ш2}$ - внутренний диаметр заготовки шнека, м;

$\beta_{ш}$ - угол выреза заготовки шнека, град.

Размеры заготовок шнека определяются:

$$D_{u1} = (D_1 - D_2) \cdot \frac{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_1)^2}}{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_1)^2} - \sqrt{S_1^2 + (\pi D_2)^2}}; \quad (2.9)$$

$$D_{u2} = (D_1 - D_2) \cdot \frac{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_2)^2}}{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_1)^2} - \sqrt{S_1^2 + (\pi D_2)^2}}; \quad (2.10)$$

$$\beta_{u1} = 360^\circ(1 - \Delta_{u1}); \quad (2.11)$$

где $\Delta_{u1} = \frac{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_1)^2}}{\pi D_{u1}} = \frac{\sqrt{S_1^2 + (\pi D_2)^2}}{\pi D_{u2}};$

D_2 - внутренний диаметр шнека, м;

S_1 - шаг витка шнека, м.

Отношение шага винта к его диаметру в зависимости от свойств материала в соответствии с [100, 130] рекомендуется принимать в пределах

$\frac{S_1}{D_1} = 0,8 \dots 1,2$. По рекомендациям [52] более выгодные условия для скольжения

сыпучей массы по винтовой поверхности под действием силы тяжести в

наклонном шнеке создается при значениях отношения $\frac{S_1}{D_1} = 0,6 \dots 0,8$.

С учетом принятых рекомендаций выражения для определения размеров заготовок шнека запишутся:

$$D_{u1} = (D_1 - D_2) \left(\frac{3,24 D_1}{3,24 \cdot D_1 - \sqrt{0,64 D_1^2 - \pi^2 D_2^2}} \right); \quad (2.12)$$

$$D_{u2} = (D_1 - D_2) \left(\frac{\sqrt{0,64 \cdot D_1^2 + \pi^2 \cdot D_2^2}}{3,24 \cdot D_1 - \sqrt{0,64 D_1^2 + \pi^2 D_2^2}} \right); \quad (2.13)$$

$$\beta_{u1} = 360^\circ \left(1 - \frac{3,24 D_1 - \sqrt{0,64 D_1^2 - \pi^2 D_2^2}}{\pi (D_1 - D_2)} \right). \quad (2.14)$$

Длина тангенциальных лопаток определяется (рис. 2.5) из прямоугольного треугольника (ΔBAO):

$$|OB|^2 = |OA|^2 + |AB|^2, \quad (2.15)$$

После замены $|OB| = \frac{D_1}{2}$, $|AO| = \frac{D_2}{2}$, $l_T = |AB|$, получим:

$$\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 + l_T^2, \quad (2.16)$$

где l_T - длина тангенциальной лопатки, м.

Откуда:

$$l_T = \frac{\sqrt{D_1^2 - D_2^2}}{2}. \quad (2.17)$$

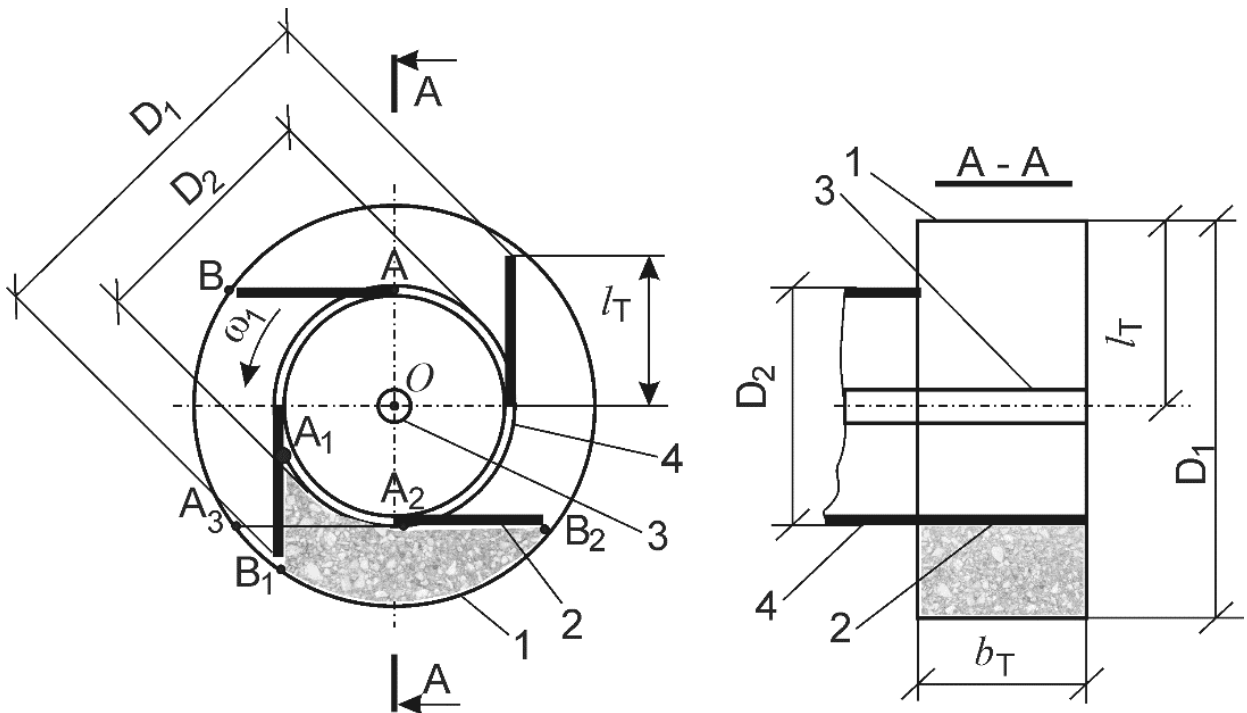


Рисунок 2.5 – Расчетная схема участка тангенциальных лопаток

Тогда объем, занимаемый тангенциальными лопатками, определяется:

$$V_{\text{тан}} = L_{15} \cdot l_T \cdot S^* = S_T^* L_{15} \frac{\sqrt{D_1^2 - D_2^2}}{2}, \quad (2.18)$$

где L_{15} - длина участка тангенциальных лопаток, м (см. рис. 2.3);

S_T^* - толщина тангенциальных лопаток, м.

Объем, занимаемый одним витком дополнительного шнека, определяется [52, 100, 130]:

$$V_{\text{дон1}} = \frac{\pi(d_{\text{u1}}^2 - d_{\text{u2}}^2)}{4} \cdot S^* \cdot \left(\frac{360^\circ - \beta_{\text{дон1}}}{360^\circ} \right), \quad (2.19)$$

где d_{u1} - наружный диаметр заготовки дополнительного шнека, м;

d_{u2} - внутренний диаметр заготовки вала дополнительного шнека, м;

$\beta_{\text{дон1}}$ - угол выреза заготовки дополнительного шнека, град.

Размеры заготовок дополнительного шнека определяются аналогично, как до шнека:

$$d_{\text{u1}} = (d_1 - d_2) \cdot \frac{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_1)^2}}{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_1)^2} - \sqrt{S_2^2 + (\pi d_2)^2}}; \quad (2.20)$$

$$d_{\text{u2}} = (d_1 - d_2) \cdot \frac{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_2)^2}}{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_2)^2} - \sqrt{S_1^2 + (\pi d_2)^2}}; \quad (2.21)$$

$$\beta_{\text{дон2}} = 360^\circ(1 - \Delta_{\text{дон}}); \quad (2.22)$$

$$\text{где } \Delta_{\text{дон}} = \frac{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_1)^2}}{\pi d_{\text{u1}}} = \frac{\sqrt{S_2^2 + (\pi d_1)^2}}{\pi d_{\text{u2}}};$$

d_1 - наружный диаметр дополнительного шнека, м;

d_2 - внутренний диаметр дополнительного шнека, м;

S_2 - шаг витка дополнительного шнека, м.

Отношение шага витка дополнительного шнека к его наружному диаметру в соответствии с рекомендациями [52, 100, 130] принимаются $\frac{S_2}{d_1} = 1,0 \dots 1,2$.

С учетом принятых рекомендаций выражения для определения размеров заготовок дополнительного шнека запишутся:

$$d_{\text{u1}} = \frac{2,03d_1(d_1 - d_2)}{2,03d_1 - \sqrt{d_1^2 - (\pi d_2)^2}} = \frac{2,03d_1(d_1 - d_2)}{2,03 - K_{\text{дон2}}}; \quad (2.23)$$

$$d_{u2} = \frac{(d_1 - d_2)K_{\partial on2}}{2,03 - K_{\partial on2}}; \quad (2.24)$$

$$\beta_{\partial on2} = 360^\circ \cdot \left[1 - \frac{2,03 - K_{\partial on2}}{\pi (d_1 - d_2)} \right]; \quad (2.25)$$

$$K_{\partial on2} = \sqrt{d_1^2 + (\pi d_2)^2}. \quad (2.26)$$

Объем, занимаемый дополнительной шнековой навивкой, на участке L_{14} определится по выражению:

$$V_{\partial on1} = V_{\partial on1\epsilon} \cdot K_{\partial on1\epsilon}, \quad (2.27)$$

где $K_{\partial on1\epsilon}$ - количество витков дополнительного шнека на участке L_{14} , м.

При одинаковых конструктивных параметрах дополнительного шнека на участках L_{14} и L_{12} объем, занимаемый дополнительным шнеком, определится по выражению:

$$V_{\partial on2} = V_{\partial on1\epsilon} \cdot K_{\partial on2\epsilon}, \quad (2.28)$$

где $K_{\partial on2\epsilon}$ - количество витков дополнительного шнека на участке L_{12} , м.

Объем, занимаемый дополнительной шнековой навивкой, определяется по выражению:

$$V_{\partial on} = V_{\partial on1} + V_{\partial on2} = V_{\partial on1\epsilon} \cdot (K_{\partial on1\epsilon} + K_{\partial on2\epsilon}). \quad (2.29)$$

Количество витков дополнительного шнека определяется:

$$K_{\partial on1\epsilon} + K_{\partial on2\epsilon} = \frac{L_{14} + L_{12}}{S_2}, \quad (2.30)$$

где S_2 - шаг дополнительного шнека, м;

Объем, занимаемый лопатками, определится по выражению:

$$V_{\partial иф} = V_{\partial иф1} \cdot n_{\partial иф}, \quad (2.31)$$

где $V_{\partial иф1}$ - объем одной лопатки, м;

$n_{\partial иф}$ - количество лопаток, шт.

Количество лопаток определится:

$$n_{\partial иф} = n_{\partial иф1} \cdot n_{\partial иф2}, \quad (2.32)$$

где $n_{диф1}$ - количество рядов лопаток, шт.;

$n_{диф2}$ - количество лопаток в ряду, шт.

Объем, занимаемый валом шнека, определится:

$$V_{вал1} = \frac{\pi}{4} [D_2^2 - (d_1 + \delta_2)^2] \cdot (L_{12} + L_{13} + L_{14}), \quad (2.33)$$

где δ_2 - зазор между витком дополнительного шнека и валом шнека, м
(рис.2.3).

Объем, занимаемый валом дополнительного шнека, определится:

$$V_{вал2} = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot L_{см}, \quad (2.34)$$

где $L_{см}$ - длина рабочей камеры смесителя, м.

2.3.2 Определение производительности смесителя

Для обеспечения технологического процесса производительность смесителя периодического действия определится по формуле [23, 59, 100]:

$$Q_{см} = \frac{V_{нс} \cdot \rho_n \cdot \varphi_n}{t_{см} + t_{заг} + t_{выг}}, \quad (2.35)$$

где $V_{нс}$ - полезный объем смесителя, м³;

ρ_n - насыпная плотность корма, кг/м³;

φ_n - коэффициент заполнения смесительной камеры;

$t_{см}$ - время смешивания, с;

$t_{заг}$ - время загрузки, с;

$t_{выг}$ - время выгрузки, с.

Основным фактором, при фиксированном объеме смесителя, влияющим на качество, является продолжительность смешивания, которая зависит от времени цикла:

$$t_{см} = t_{ц} \cdot K_{ц}, \quad (2.36)$$

где $t_{ц}$ - время цикла смесителя, с;

$K_{ц}$ - количество циклов смешивания, шт.

Рассмотрим схему движения корма в смесителе (рис. 2.3) за один цикл. Корм под действием шнековой навивки 3 (рис. 2.3) не только перемешивается, но и перемещается вдоль оси шнека за время $t_{ш1}$ на расстояние $(L_{11} + L_{12})$.

При дальнейшем перемещении вдоль шнека корм на участке L_{13} , встречает на своем пути плоские лопатки 5 (рис. 2.6), закрепленные на шнековой навивке 7 и канале 2 обратного хода. Для частичного пересыпания корма от шнековой навивки 7 в канал обратного хода 2 с дополнительным шнеком 6 в канале обратного хода имеются отверстия 4.

Непересыпавшийся через отверстия корм под действием шнека 4 (см. рис. 2.2) транспортируется к тангенциальным лопаткам 7 (участок L_{15}) (см. рис. 2.3), которыми перебрасывается внутрь канала и обратного хода за время $t_{тан}$, где захватывается дополнительным шнеком 6 (см. рис. 2.2), и под действием дополнительного шнека 6 корм перемешивается и перемещается вдоль вала 18 дополнительного шнека за время $t_{дон1}$ на расстояние L_{14} (см. рис. 2.3) к лопаткам 3 (см. рис. 2.2).

Затем кормовая смесь попадает на участок L_{13} (см. рис. 2.4), где происходит подпитка кормом через окна 4 (рис. 2.6) от шнековой навивки 7 и плоских лопаток 5. Под действием лопаток 3 (см. рис. 2.2) и вращающегося канала обратного хода 2, установленного под наклоном, смесь перемешивается взаимопроникающими потоками кормовой смеси и при этом перемещается от участка L_{14} (рис. 2.6) к участку L_{12} на расстояние L_{13} .

Дополнительным шнеком 6 за время $t_{дон2}$ смесь перемещается на участке L_{12} (см. рис. 2.3) в зону загрузочного участка L_{11} шнека 4, захватывается шнеком 4 и цикл смешивания кормовой смеси повторяется.

Для исключения застойных зон в смесителе необходимо выполнить условие непрерывности потока на каждом из участков:

$$Q_{ш1} = Q_{диф1} = Q_{ш2} = Q_{тан} = Q_{дон1} = Q_{диф2} = Q_{дон2}, \quad (2.37)$$

где $Q_{ш1}$ - подача шнека на участках L_{11} и L_{12} , кг/с;

$Q_{диф1}$ - подача шнека на участке пересыпания L_{13} , кг/с;

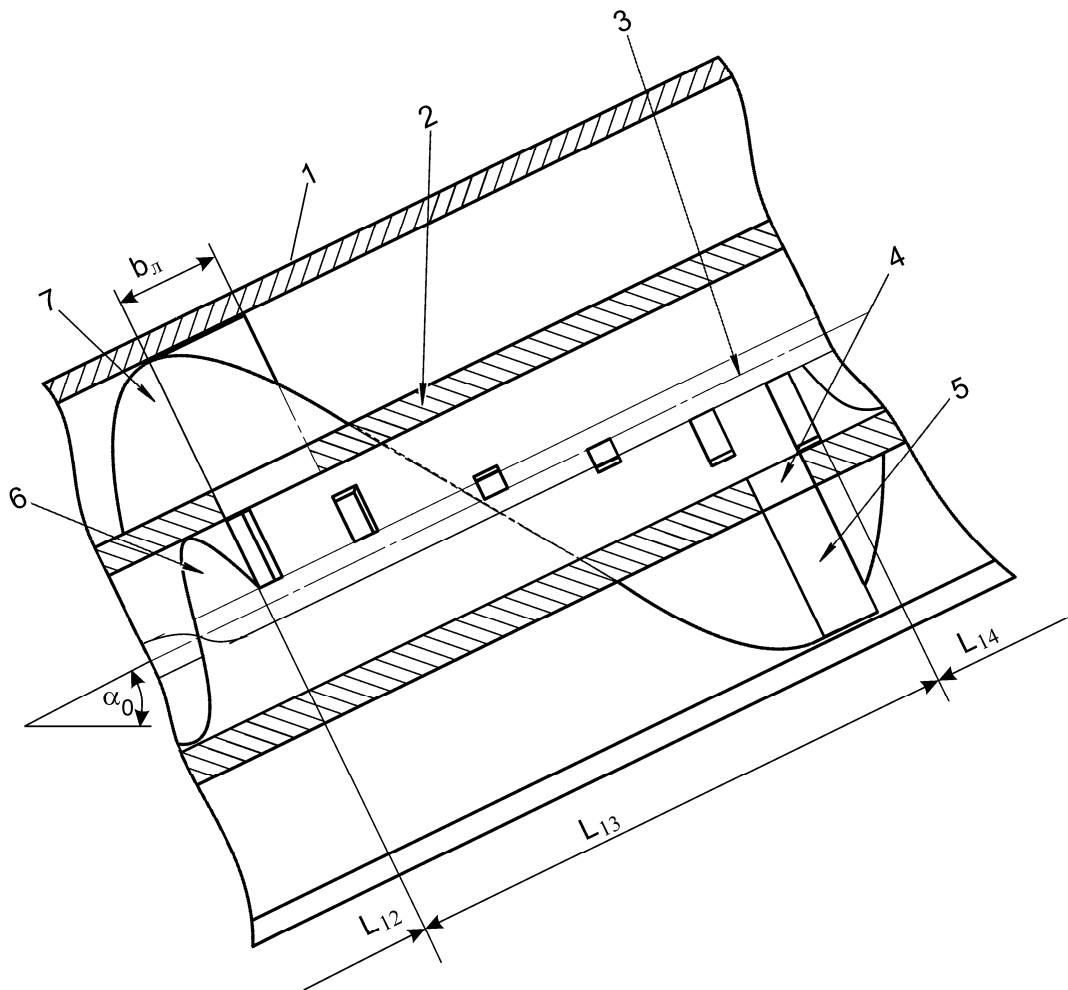
$Q_{ш2}$ - подача шнека на участке L_{14} , кг/с;

$Q_{тан}$ - подача на участке тангенциальных лопаток L_{15} , кг/с;

$Q_{дон1}$ - подача дополнительного шнека на участке L_{14} , кг/с;

$Q_{диф2}$ - подача в канале обратного хода на участке лопаток, L_{13} , кг/с;

$Q_{дон2}$ - подача дополнительного шнека на участке L_{12} , кг/с.



1 – корпус; 2 – канал обратного хода; 3 – вал; 4 – окна; 5 – плоская лопатка;
6 – дополнительный шнек; 7 – шнек

Рисунок 2.6 – Схема участка пересыпания

Под действием винтовой навивки и лопаток частицы корма участвуют во вращательном и осевом движении по отношению к рабочему органу. Время нахождения смеси на каждом из участков рабочих органов будет определяться осевой подачей.

Подача шнеком кормовой смеси на участках L_{14} и L_{12} определится по выражению [52, 100, 75, 87, 176]:

$$Q_{u1} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot v_{u1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{u1}, \quad (2.38)$$

где Q_{u1} - подача шнека кормовой смеси на участках L_{11} и L_{12} , кг/с;

D_2 - наружный диаметр шнека, м;

D_1 - внутренний диаметр шнека, м;

v_{u1} - осевая скорость кормового потока на участках L_{11} и L_{12} , м/с;

φ_{u1} - коэффициент заполнения шнека на участках L_{11} и L_{12} .

Осевая скорость кормового потока на участках L_{11} и L_{12} определится по формуле [26, 52]:

$$v_{u1} = \omega_{u1c} \cdot r_{u1c} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{u1c}, \quad (2.39)$$

где ω_{u1c} - угловая скорость средней винтовой линии, с^{-1} ;

r_{u1c} - радиус средней винтовой линии шнека, м;

α_{u1c} - угол подъема средней винтовой линии шнека, град.

Радиус средней винтовой линии шнека определится:

$$r_{u1c} = \frac{D_2 + D_1}{4}. \quad (2.40)$$

Угловая скорость средней винтовой линии шнека:

$$\omega_{u1c} = 2\pi \cdot n_{u1}, \quad (2.41)$$

где n_{u1} - частота вращения шнека, с^{-1} .

Угол подъема средней винтовой линии шнека связан с диаметром и шагом шнека [52, 176]:

$$\operatorname{tg} \alpha_{u1c} = \frac{S_{u1}}{\pi D_{u1c}} = \frac{S_{u1}}{\pi \cdot 2 \cdot r_{u1c}} = \frac{2S_{u1}}{\pi (D_1 + D_2)}, \quad (2.42)$$

где S_{u1} - шаг шнека, м;

D_{u1c} - диаметр средней винтовой линии шнека, м;

или с учетом отношения $\frac{S_{u1}}{D_1} = K_{u1}$ можно записать:

$$\operatorname{tg} \alpha_{u1c} = \frac{2 \cdot D_1 \cdot K_{u1}}{\pi (D_1 + D_2)}, \quad (2.43)$$

где K_{u1} - отношение шага к диаметру шнека.

Подставим в (2.39) выражение для (2.41), (2.40) и (2.43) и получим:

$$v_{u1} = D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1}. \quad (2.44)$$

Подставляем (2.44) в (2.38) и получим:

$$Q_{u1} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{u1}. \quad (2.45)$$

В соответствии с рекомендациями [29, 30, 52, 75, 100, 130, 146] на подачу шнековых рабочих органов влияет угол наклона оси шнека к горизонту. С учетом этого выражения для (2.44) и (2.45) примут вид:

$$v_{u1} = D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1} \cdot K_{\alpha 1}, \quad (2.46)$$

$$Q_{u1} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{u1} \cdot K_{\alpha 1}, \quad (2.47)$$

где $K_{\alpha 1}$ - коэффициент учитывающий влияние угла наклона шнека к горизонту.

На участке L_{13} кормовая смесь частично захватывается плоскими лопатками 5 (см. рис. 2.2) и через окна 13 пересыпается в канал 5 обратного хода под действие лопаток 3, а частично транспортируется шнеком 4 к участку L_{14} (см. рис. 2.3).

Подача шнека на участке L_{14} определяется:

$$Q_{u1} = Q_{\text{дифл}} = Q_{u1} - Q_{u1}, \quad (2.48)$$

где $Q_{шл}$ - подача кормовой смеси плоскими лопатками через окна, кг/с.

Подача кормовой смеси плоскими лопатками определится [176]:

$$Q_{шл} = V_{шл} \cdot \rho_n \cdot z_{шл} \cdot n_{шл}, \quad (2.49)$$

где $V_{шл}$ - объем корма, захватываемый одной плоской лопаткой, м³;

$z_{шл}$ - количество лопаток, шт.

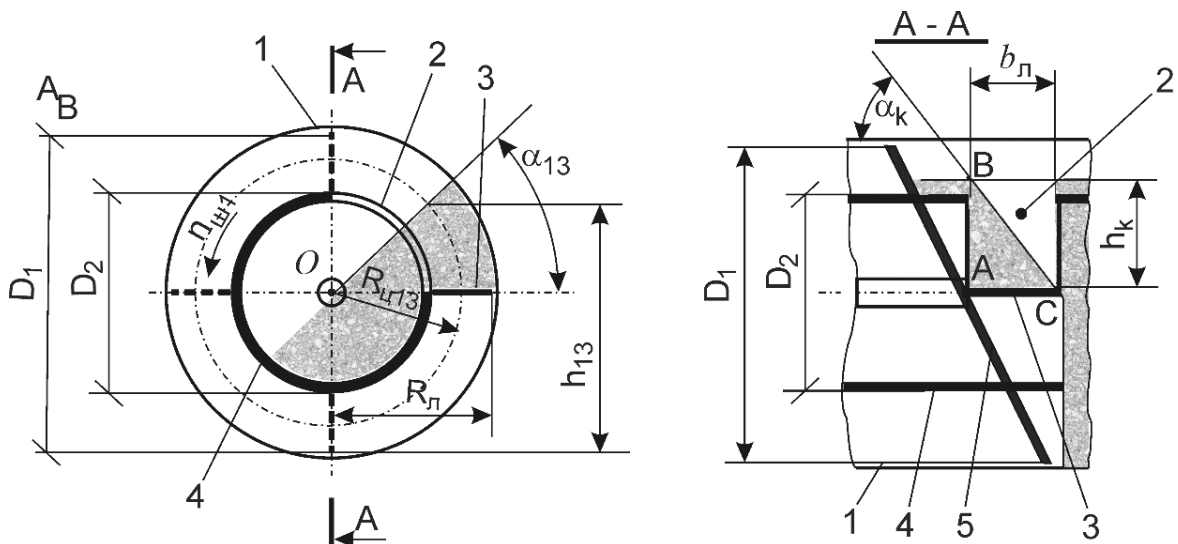
При вращении плоской лопатки в слое корма часть его будет захватываться лопаткой 3 и пересыпаться через окно 2 в канал обратного хода, а часть осыпаться с лопатки под углом α_k естественного откоса (рис. 2.7).

Высота слоя корма под лопаткой определится из треугольника ABC по выражению:

$$|BC| = \frac{|AB|}{\sin \alpha_k} = \frac{|AC|}{\cos \alpha_k}. \quad (2.50)$$

Откуда:

$$h_k = |AB| = |AC| \cdot \operatorname{tg} \alpha_k = b_l \cdot \operatorname{tg} \alpha_k. \quad (2.51)$$



1 – корпус; 2 - окно; 3 – плоская лопатка, 4 – канал обратного хода; 5 - шнек

Рисунок 2.7 – Расчетная схема определения подачи плоскими лопатками на участке пересыпания

Тогда объем корма, захватываемый лопаткой, определяется:

$$V_{шл} = \left(R_l - \frac{D_2}{2} \right) \cdot b_l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_k, \quad (2.52)$$

или

$$V_{шл} = \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) \cdot b_l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_k \cdot \varphi_{шл}, \quad (2.53)$$

где α_k - угол внутреннего трения корма, град;

$\varphi_{шл}$ - коэффициент, учитывающий наполнение сечения шнека;

b_l - ширина плоских лопаток, м.

Подача кормовой смеси плоскими лопатками с учетом выражения (2.53) запишется:

$$Q_{шл} = \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) \cdot b_l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_k \cdot \varphi_{шл} \cdot \rho_n \cdot z_{шл} \cdot n_{шл}, \quad (2.54)$$

Осевая скорость $\mathcal{G}_{диф1}$ перемещения кормовой смеси на участке L_{13} определится шнеком:

$$\mathcal{G}_{диф1} = \mathcal{G}_{шл} = D_1 \cdot n_{шл} \cdot K_{шл} \cdot K_{\alpha 1}, \quad (2.55)$$

где $\mathcal{G}_{диф1}$ - осевая скорость перемещения кормовой смеси на шнековом участке пересыпания L_{13} , м/с.

На шнековом участке L_{14} кормовая смесь будет перемещаться под действием шнека к тангенциальным лопаткам (к участку L_{15}). Подача будет определяться по выражению [29, 30, 52, 75, 100, 130, 146]:

$$\begin{aligned} Q_{ш2} &= Q_{ш1} - Q_{шл} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{шл} \cdot K_{шл} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{шл} \cdot K_{\alpha 1} - \\ &- \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) \cdot b_l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_k \cdot \varphi_{шл} \cdot \rho_n \cdot z_{шл} \cdot n_{шл} = \\ &= \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{шл} \cdot K_{шл} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{ш2} \cdot K_{\alpha 1} \end{aligned}, \quad (2.56)$$

где $\varphi_{ш2}$ - коэффициент заполнения шнека на участке L_{14} .

Осевая скорость $\mathcal{G}_{ш2}$ перемещения кормовой смеси на участке L_{14} шнека определится:

$$\mathcal{G}_{ш2} = \mathcal{G}_{шл} = D_1 \cdot n_{шл} \cdot K_{шл} \cdot K_{\alpha 1}. \quad (2.57)$$

На участке L_{15} тангенциальными лопатками кормовая смесь захватывается и пересыпается в канал обратного хода. Ширина лопасти должна обеспечивать пересыпание кормовой смеси, исключая ее прессование у торцевой стенки корпуса. Ширина лопасти определится из выражения [176]:

$$b_T = \frac{Q_{u2}}{n_{u1} \cdot z_T}, \quad (2.58)$$

где z_T - количество тангенциальных лопаток, шт.

Подставим значение для (2.57) и получим:

$$b_T = \frac{D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1} \cdot K_{\alpha 1}}{n_{u1} \cdot z_T}. \quad (2.59)$$

Подача тангенциальных лопаток определится:

$$Q_{ман} = Q_{u2} = Q_{u1} - Q_{ул}, \quad (2.60)$$

$$Q_{ман} = V_{ман1} \cdot \rho_H \cdot n_{u1} \cdot z_T \cdot \varphi_{ман}, \quad (2.61)$$

где $V_{ман1}$ - объем корма, захватываемый одной тангенциальной лопаткой, м³;

$\varphi_{ман}$ - коэффициент, учитывающий наполнение тангенциальной лопаткой.

Объем, захватываемый лопаткой, будет определяться площадью, ограниченной дугой B_1B_2 , длиной лопатки $|B_2A_2|$, дугой A_2A_1 , лопастью A_1B_1 и шириной лопатки b_T (рис. 2.8):

$$V_{ман1} = S_{A_1A_2B_2B_1} \cdot b_T, \quad (2.62)$$

где $S_{A_1A_2B_2B_1}$ - площадь ячейки, образованной корпусом смесителя, каналом обратного хода и соседними тангенциальными лопатками, м²;

b_T - ширина тангенциальной лопатки, м.

Площадь кругового сегмента $B_2B_3B_4$ определится:

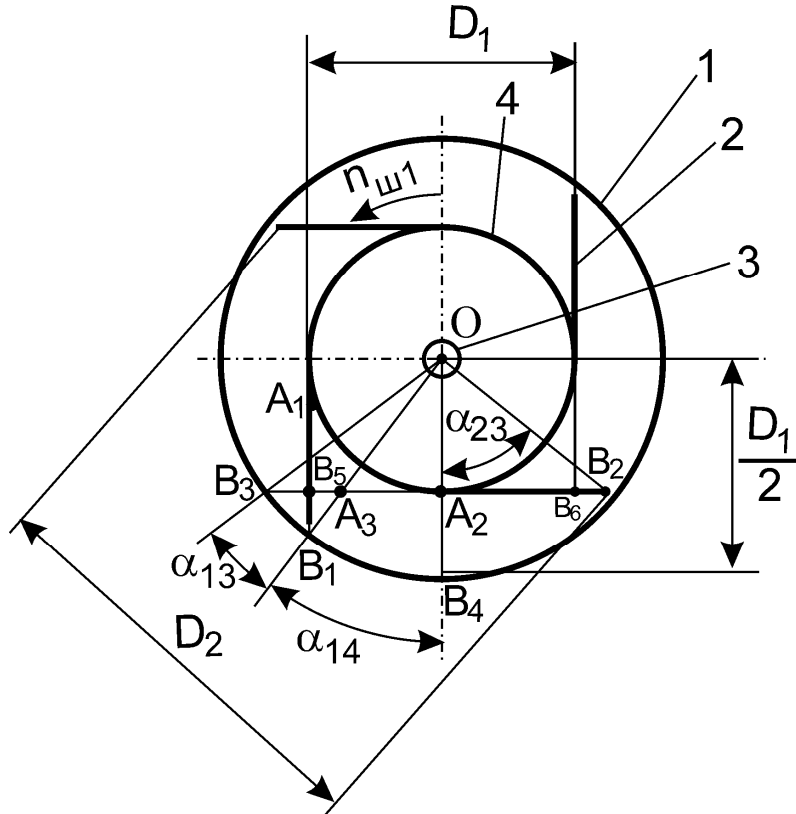
$$S_{B_2B_3B_4} = \frac{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2}{2} \cdot \left(\frac{\pi(2 \cdot \alpha_{23})}{180^\circ} - \sin(2\alpha_{23})\right). \quad (2.63)$$

Из треугольника OA_2B_2 можно записать:

$$|OB_2| \cdot \cos \alpha_{23} = |OA_2|. \quad (2.64)$$

После замены $|OA_2| = \frac{D_2}{2}$ и $|OB_2| = \frac{D_1}{2}$ угол α_{23} определится:

$$\alpha_{23} = \arccos\left(\frac{D_2}{D_1}\right). \quad (2.65)$$



1 - корпус; 2 – тангенциальная лопатка; 3 – вал; 4 – канал обратного хода
Рисунок 2.8 – Схема определения площади ячейки на участке тангенциальных лопаток

Площадь фигуры $A_1A_2B_5$ можно определить как разность площадей квадрата с длиной стороны $|B_5B_6|$ и круга диаметром D_2 :

$$S_{A_1A_2B_5} = \frac{(D_2)^2 - \frac{\pi D_2^2}{4}}{4} = \frac{D_2^2 - \frac{\pi D_2^2}{4}}{4}; \quad (2.66)$$

$$S_{A_1A_2B_5} = \frac{4D_2^2 - \pi D_2^2}{4} = D_2^2 \left(\frac{4 - \pi}{16} \right). \quad (2.67)$$

Площадь сектора B_1OB_3 :

$$S_{B_1OB_3} = \pi \frac{D_1^2}{4} \cdot \frac{\alpha_{13}}{360^\circ}. \quad (2.68)$$

Угол α_{13} определится:

$$\alpha_{13} = \alpha_{23} - \alpha_{14}. \quad (2.69)$$

Из треугольника OA_1B_1 [111]:

$$|OB_1| \cdot \sin \alpha_{14} = |OA_1|. \quad (2.70)$$

После замены:

$$D_1 \cdot \sin \alpha_{14} = D_2. \quad (2.71)$$

Откуда выразим угол α_{14} :

$$\alpha_{14} = \arcsin \left(\frac{D_2}{D_1} \right). \quad (2.72)$$

Подставим в выражение для α_{13} :

$$\alpha_{13} = \arccos \left(\frac{D_2}{D_1} \right) - \arcsin \left(\frac{D_2}{D_1} \right). \quad (2.73)$$

Площадь сектора после подстановки определится:

$$S_{B_1OB_3} = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{\arccos \left(\frac{D_2}{D_1} \right) - \arcsin \left(\frac{D_2}{D_1} \right)}{360^\circ}. \quad (2.74)$$

Площадь треугольника ΔB_3OA_3 [111]:

$$S_{B_3OA_3} = \frac{1}{2} |OB_3| \cdot |OA_3| \cdot \sin \alpha_{13}. \quad (2.75)$$

Расстояние $|OB_3|$ выразится:

$$|OB_3| = \frac{D_1}{2}. \quad (2.76)$$

Расстояние $|OA_3|$ определится:

$$|OA_3| = \frac{\frac{D_2}{2}}{\cos \alpha_{14}} = \frac{D_2}{2 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)}. \quad (2.77)$$

После подстановки площадь треугольника $\Delta B_1 O B_3$ определится:

$$S_{B_1 O B_3} = \frac{1}{2} \frac{D_1^2}{2} \cdot \frac{D_2}{2 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)} = \frac{D_1 \cdot D_2}{8 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)}. \quad (2.78)$$

Площадь прямоугольного треугольника $B_1 B_5 A_3$ [111]:

$$S_{B_3 O A_3} = \frac{1}{2} |B_5 B_1| \cdot |B_5 A_3|. \quad (2.79)$$

Расстояние $|B_1 A_3|$:

$$|B_1 A_3| = |OB_1| - |OA_3|, \quad (2.80)$$

или

$$|B_1 A_3| = \frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)}. \quad (2.81)$$

Расстояние $B_1 B_5$ из прямоугольного треугольника $\Delta B_1 B_5 A_3$ определится [111]:

$$|B_5 B_1| = |B_1 A_3| \cdot \cos \alpha_{14}. \quad (2.82)$$

После замены получим:

$$|B_5 B_1| = \left[\frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)} \right] \cdot \cos \left(\arcsin \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \right). \quad (2.83)$$

Расстояние $|B_5 A_3|$ определится из прямоугольного треугольника $\Delta B_1 B_5 A_3$:

$$|B_5 A_3| = |B_1 A_3| \cdot \sin \alpha_{14}. \quad (2.84)$$

После замены получим:

$$|B_5 A_3| = \left(\frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)} \right) \cdot \frac{D_2}{D_1} = \left[D_1 - \frac{D_2}{\cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)} \right] \cdot \frac{D_2}{2D_1}. \quad (2.85)$$

Тогда площадь треугольника $\Delta B_1 B_5 A_3$ после подстановки запишется:

$$S_{B_1 B_5 A_3} = \left(\frac{D_1 \cdot \cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)}{2} - \frac{D_2}{2} \right) \cdot \left[D_1 - \frac{D_2}{\cos \left(\arcsin \frac{D_2}{D_1} \right)} \right] \cdot \frac{D_2}{2D_1}. \quad (2.86)$$

Площадь сектора $B_3 B_5 B_1$ определится:

$$S_{B_3 B_5 B_1} = S_{B_1 O B_3} - S_{B_3 O A_3} - S_{B_1 B_5 B_3}. \quad (2.87)$$

Тогда площадь ячейки $S_{A_1 A_2 B_2 B_1}$ определяется по выражению:

$$S_{A_1 A_2 B_2 B_1} = S_{B_2 B_3 B_4} - S_{B_3 B_5 B_1} - S_{A_1 A_2 B_5}, \quad (2.88)$$

где $S_{B_2 B_3 B_4}$ - площадь, определяемая по выражению (2.63);

$S_{B_3 B_5 B_1}$ - площадь, определяемая по выражению (2.87);

$S_{A_1 A_2 B_5}$ - площадь, определяемая по выражению (2.67).

Поддача дополнительного шнека на участке L_{14} определится [52, 87, 100]:

$$Q_{don1} = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) \cdot \mathcal{G}_{don1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{don1}, \quad (2.89)$$

где d_1 - наружный диаметр дополнительного шнека, м;

d_2 - диаметр вала дополнительного шнека, м;

\mathcal{G}_{don1} - осевая скорость кормового штока в дополнительном шнеке на участке L_{14} , м/с;

φ_{don1} - коэффициент заполнения дополнительного шнека на участке L_{14} .

Осевая скорость кормового штока в дополнительном шнеке на участке L_{14} определится по формуле [52]:

$$\mathcal{G}_{don1} = \omega_{don1c} \cdot r_{don1c} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{don1c}, \quad (2.90)$$

где ω_{donlc} - угловая скорость средней винтовой линии, c^{-1} ;

r_{donlc} - радиус средней винтовой линии дополнительного шнека, м;

$tg\alpha_{donlc}$ - угол подъема средней винтовой линии дополнительного шнека, град.

Радиус средней винтовой линии дополнительного шнека определится:

$$r_{donlc} = \frac{d_1 + d_2}{4}. \quad (2.91)$$

Угловая скорость средней винтовой линии определится [32, 52, 87, 100]:

$$\omega_{donlc} = \omega_{donlc}^u + \omega_{donlc}^K, \quad (2.92)$$

где ω_{donlc}^u - угловая скорость средней винтовой линии дополнительного шнека, при неподвижном канале обратного хода, c^{-1} ;

ω_{donlc}^K - относительная угловая скорость дополнительного шнека, c^{-1} .

Угловая скорость средней винтовой линии дополнительного шнека при неподвижном канале обратного хода определится по выражению:

$$\omega_{donlc}^u = 2\pi \cdot n_{donl}, \quad (2.93)$$

где n_{donl} - частота вращения дополнительного шнека, c^{-1} .

При вращении канала обратного хода при неподвижном дополнительном шнеке относительная угловая скорость средней винтовой линии дополнительного шнека определится по выражению [32, 52, 87, 100]:

$$\omega_{donlc}^K = 2\pi \cdot n_{ul}. \quad (2.94)$$

Подставим в (2.92) выражения (2.93) и (2.94):

$$\omega_{donlc} = 2\pi (n_{donl} + n_{ul}). \quad (2.95)$$

Угол подъема средней винтовой линии дополнительного шнека связан с диаметром и шагом шнека выражением [32, 52, 87, 100, 176]:

$$tg\alpha_{donlc} = \frac{S_{donl}}{\pi d_{donlc}} = \frac{S_{donl}}{\pi 2r_{donlc}} = \frac{S_{donl}}{\pi (d_1 + d_2)}, \quad (2.96)$$

где S_{donl} - шаг дополнительного шнека, м;

$d_{\text{don}1c}$ - диаметр средней винтовой линии дополнительного шнека, м.

С учетом соотношения $\frac{S_{\text{don}1}}{d_1} = K_{\text{don}1}$ можно записать:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{don}1c} = \frac{d_1 \cdot K_{\text{don}1}}{\pi (d_1 + d_2)}, \quad (2.97)$$

где $K_{\text{don}1}$ - отношение шага к диаметру дополнительного шнека.

Подставим в (2.90) выражение для (2.95), (2.91 $r_{\text{don}1c}$), (2.97) и получим:

$$g_{\text{don}1} = \frac{d_1 \cdot (n_{\text{don}1} + n_{\text{ш}1}) \cdot K_{\text{don}1}}{2}. \quad (2.98)$$

Подставим (2.98) в (2.89):

$$Q_{\text{don}1} = \frac{\pi}{8} (d_1^2 - d_2^2) \cdot d_1 \cdot (n_{\text{don}1} + n_{\text{ш}1}) \cdot K_{\text{don}1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{don}1}. \quad (2.99)$$

В соответствии с рекомендациями [29, 30, 52, 75, 100, 130, 146] с учетом угла наклона от дополнительного шнека к горизонту выражения для (2.98) и (2.99) запишутся:

$$g_{\text{don}1} = \frac{d_1 (n_{\text{don}1} + n_{\text{ш}1}) \cdot K_{\text{don}1} \cdot K_{\alpha 2}}{2}, \quad (2.100)$$

$$Q_{\text{don}1} = \frac{\pi}{8} (d_1^2 - d_2^2) \cdot d_1 \cdot (n_{\text{don}1} + n_{\text{ш}1}) \cdot K_{\text{don}1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{don}1} \cdot K_{\alpha 2}, \quad (2.101)$$

где $K_{\alpha 2}$ - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона оси дополнительного шнека к горизонту.

Подача лопаток 4 на участке L_{14} , закрепленных на валу 3 дополнительного шнека определится:

$$Q_{\text{диф}2} = Q_{\text{don}1} + Q_{\text{диф}1} = Q_{\text{don}2} = Q_{\text{ш}1}, \quad (2.102)$$

или

$$Q_{\text{диф}2} = V_{\text{диф}2} \cdot \rho_n \cdot n_{\text{ш}2} \cdot z_{\text{диф}2} \cdot \varphi_{\text{диф}2}, \quad (2.103)$$

где $V_{\text{диф}2}$ - объем корма, перемещаемый одной лопаткой, м³;

$z_{\text{диф}2}$ - количество лопаток, шт.;

$\varphi_{\text{диф}2}$ - коэффициент, учитывающий наполнение лопатки.

Для интенсификации процесса перемешивания кормовой смеси, поступающей на участок пересыпания дополнительного шнека через окна от плоских лопаток и по каналу обратного хода от участка L_{14} ширина лопатки принимается равной половине ширины плоской лопатки установленной на шнеке (рис. 2.9), т.е. [176]:

$$b_{\text{диф}2} = \frac{b_{\text{л}}}{2}, \quad (2.104)$$

где $b_{\text{диф}2}$ - ширина лопаток на участке L_{13} дополнительного шнека, м.

Расстояние между лопатками принимаем равным ширине лопаток. Общая длина участка пересыпания определится:

$$L_{13} = S_{\text{ш}1} + b_{\text{л}}. \quad (2.105)$$

Количество лопаток в одном ряду определится по выражению:

$$n_{\text{диф}2} = \frac{L_{13}}{L_{\text{диф}2}} = \frac{S_{\text{ш}1} + b_{\text{л}}}{2b_{\text{диф}2}} = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{\text{ш}1}}{b_{\text{л}}} + 1 \right), \quad (2.106)$$

где $L_{\text{диф}2}$ - шаг расстановки лопаток, м.

Количество лопаток определится:

$$z_{\text{диф}2} = n_{\text{диф}2} \cdot n_{\text{ряд}2} = \left(\frac{S_{\text{ш}1}}{b_{\text{л}}} + 1 \right) \cdot \frac{n_{\text{ряд}2}}{2}, \quad (2.107)$$

где $n_{\text{ряд}2}$ - количество рядов лопаток, шт.

При движении лопатки в слое корма перед лопаткой образуется клин кормовой смеси, который при дальнейшем вращении лопатки перебрасывается через вал дополнительного шнека. Кормовой клин перед лопаткой будет иметь высоту $h_{\text{диф}2}$ (рис. 2.9) с углом естественного откоса α_K . Объем корма, захватываемый одной лопаткой, определится:

$$V_{\text{диф}2} = \left(R_{\text{л}2} - \frac{d_2}{2} \right) \cdot S_{\text{диф}2}, \quad (2.108)$$

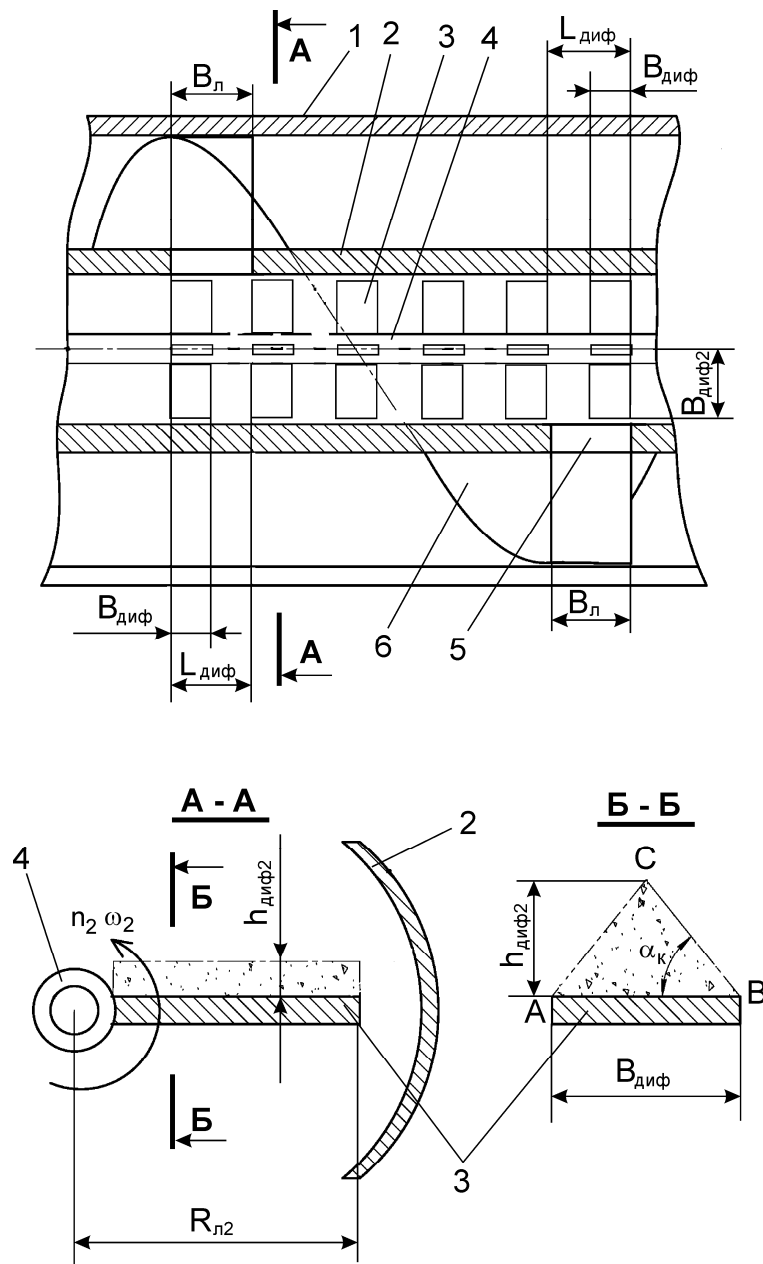
где $R_{\text{л}2}$ - наружный радиус лопатки, м;

$S_{диф2}$ - площадь, захватываемой лопаткой, м².

Площадь кормовой смеси, захватываемой лопаткой, определится из площади треугольника ΔABC :

$$S_{диф2} = S_{ABC} = h_K \cdot \frac{b_{диф2}}{2}, \quad (2.109)$$

где h_K - высота корма над лопаткой, м;



1 – корпус смесителя, 2 – канал обратного хода, 3 – лопатка дополнительного шнека, 4 – вал, 5 – плоская лопатка; 6 - шнек

Рисунок 2.9 – Расчетная схема участка пересыпания под действием лопаток дополнительного шнека

Из треугольника ABC высота h_K определится:

$$h_K = \frac{b_{\text{диф}2} \cdot \text{tg} \alpha_K}{2}, \quad (2.110)$$

где $\text{tg} \alpha_K$ - угол внутреннего трения корма, град.

С учетом (2.110) выражение (2.109) примет вид:

$$S_{\text{диф}2} = \frac{b_{\text{диф}2}}{2} \cdot \frac{b_{\text{диф}2} \cdot \text{tg} \alpha_K}{2} = \frac{b_{\text{диф}2}^2 \cdot \text{tg} \alpha_K}{4}. \quad (2.111)$$

Подставим (2.111) в выражение (2.108) с учетом $R_{л2} \approx \frac{d_1}{2}$ и получим:

$$V_{\text{диф}2} = \frac{(d_1 - d_2) \cdot b_{\text{диф}2}^2 \cdot \text{tg} \alpha_K}{8}. \quad (2.112)$$

Подставим (2.112) в (2.103) и получим:

$$Q_{\text{диф}2} = \frac{(d_1 - d_2) \cdot b_{л} \cdot \text{tg} \alpha_K \cdot \rho_n \cdot n_{ш2} (S_{ш1} + 2b_{л}) \cdot n_{ржд2} \cdot \varphi_{\text{диф}2}}{64}. \quad (2.113)$$

Подача дополнительного шнека на участке L_{12} определяется по выражению:

$$Q_{\text{дон}2} = Q_{\text{диф}2} = Q_{ш1}. \quad (2.114)$$

Осевая скорость кормового потока и подача в канале обратного хода под действием дополнительного шнека и вращения канала обратного хода на участке L_{12} определится аналогично, как и на участке L_{14} по выражениям:

$$g_{\text{дон}2} = d_1 (n_{\text{дон}1} + n_{ш1}) \cdot K_{\text{дон}1} \cdot K_{\alpha 2}, \quad (2.115)$$

$$Q_{\text{дон}2} = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) \cdot d_1 \cdot (n_{\text{дон}1} + n_{ш1}) \cdot K_{\text{дон}1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{дон}2} \cdot K_{\alpha 2}, \quad (2.116)$$

где $g_{\text{дон}2}$ - осевая скорость кормового потока в канале обратного хода на участке L_{12} , м/с;

$\varphi_{\text{дон}2}$ - коэффициент заполнения дополнительного шнека на участке L_{12} .

2.3.3 Определение времени цикла

Время нахождения кормовой смеси на каждом из участков смесителя определяется ее осевой скоростью.

Время цикла будет складываться из времени прохождения компонентов смеси по участкам рабочего органа и определится по выражению (см. рис. 2.3):

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{диф1}} + t_{\text{ш2}} + t_{\text{тан}} + t_{\text{дон1}} + t_{\text{диф2}} + t_{\text{дон2}}, \quad (2.117)$$

где $t_{\text{ш1}}$ - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке $(L_{11} + L_{12})$, с;

$t_{\text{диф1}}$ - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке L_{13} , с;

$t_{\text{ш2}}$ - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке L_{14} , с;

$t_{\text{тан}}$ - время нахождения смеси на участке тангенциальных лопаток L_{15} , с;

$t_{\text{дон1}}$ - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке L_{14} , с;

$t_{\text{диф2}}$ - время нахождения в канале обратного хода в зоне лопаток L_{13} , с;

$t_{\text{дон2}}$ - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке L_{12} , с.

Время нахождения смеси в шнеке на участках L_{11} и L_{12} определится:

$$t_{\text{ш1}} = \frac{L_{11} + L_{12}}{g_{\text{ш1}}} = \frac{L_{11} + L_{12}}{D_1 \cdot n_{\text{ш1}} \cdot K_{\text{ш1}} \cdot K_{\alpha_1}}. \quad (2.118)$$

Время нахождения смеси на участке плоских лопаток L_{13} определится:

$$t_{\text{диф1}} = \frac{L_{13}}{g_{\text{диф1}}} = \frac{L_{13}}{D_1 \cdot n_{\text{ш1}} \cdot K_{\text{ш1}} \cdot K_{\alpha_1}}, \quad (2.119)$$

где $t_{\text{диф1}}$ - время нахождения смеси на шнековом участке L_{13} , с.

Время нахождения смеси на шнековом участке L_{14} определится:

$$t_{\text{ш2}} = \frac{L_{14}}{g_{\text{ш1}}} = \frac{L_{14}}{D_1 \cdot n_{\text{ш1}} \cdot K_{\text{ш1}} \cdot K_{\alpha_1}}, \quad (2.120)$$

где $t_{\text{ш2}}$ - время нахождения смеси на шнековом участке L_{14} , с.

Время нахождения смеси на участке тангенциальных лопаток L_{15} определится.

За один оборот шнека корм, находящийся в межвитковом пространстве, поступает в зону тангенциальных лопаток, которые за это же время должны всю поступившую кормовую массу пересыпать в канал обратного хода. Исходя из этого, время нахождения кормовой смеси в зоне тангенциальных лопаток определится по выражению:

$$t_{ман} = \frac{1}{n_{u1}}, \quad (2.121)$$

где $t_{ман}$ - время нахождения смеси в зоне L_{15} , тангенциальных лопаток, с.

Время нахождения смеси в канале обратного хода на участке L_{14} дополнительного шнека определится:

$$t_{дон1} = \frac{L_{14}}{g_{дон1}} = \frac{2L_{14}}{d_1(n_{дон1} + n_{u1}) \cdot K_{дон1} \cdot K_{\alpha_1}}, \quad (2.122)$$

где $t_{дон1}$ - время нахождения смеси в канале обратного хода на участке L_{14} дополнительного шнека, с.

Время нахождения смеси в зоне лопаток дополнительного шнека (участок L_{13}) определится:

$$t_{диф2} = \frac{L_{13}}{g_{диф2}}, \quad (2.123)$$

где $t_{диф2}$ - время нахождения смеси в зоне лопаток в канале обратного хода (участок L_{13}), с.

Находящаяся в канале обратного хода кормовая смесь высотой $h_{диф2}$ занимает площадь сечения BAC (рис. 2.10). При вращении канала обратного хода смесь будет взаимодействовать с внутренней поверхностью канала обратного хода и смещаться в направлении вращения. Величина смещения определяется углом $\varphi_{тр2}$ трения корма о внутреннюю поверхность канала обратного хода. Смесь займет положение $B_1A_1C_1$ высотой $h'_{диф2}$. Так как объем корма остается неизменным, то высота корма останется также неизменной, т.е.:

$$h'_{диф2} = h_{диф2} \cdot \quad (2.124)$$

Величина $h_{диф2}$ будет определяться коэффициентом заполнения $\varphi_{диф2}$ канала обратного хода на участке лопаток L_{13} :

$$\varphi_{диф2} = \frac{S_{BAD}}{S_{диф2}} = \left(1 - \frac{S_{BDC}}{S_{диф2}} \right), \quad (2.125)$$

где S_{BAD} - площадь сегмента BAD , m^2 ;

$S_{диф2}$ - площадь канала обратного хода на участке пересыпания, m^2 ;

S_{BDC} - площадь сегмента BDC , m^2 .

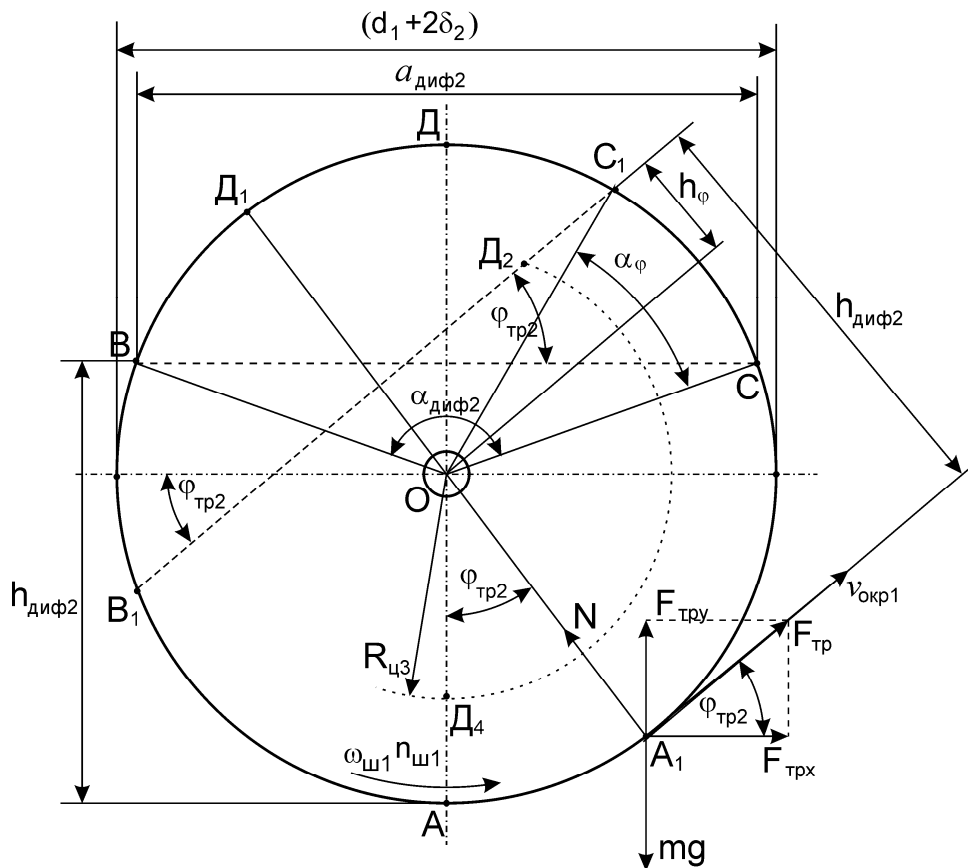


Рисунок 2.10 – Схема циркулирования смеси на участке лопаток дополнительного шнека

Площадь канала обратного хода определится [29, 30, 52, 75, 100, 130, 146]:

$$S_{диф2} = \frac{\pi [(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2]}{4}, \quad (2.126)$$

Площадь кругового сегмента BDC вычисляется по формуле [111]:

$$S_{BDC} = \left(\frac{d_1 + 2\delta_2}{2} \right)^2 \cdot \arcsin \left(\frac{a_{\text{диф}2}}{d_1 + 2\delta_2} \right) - \frac{a_{\text{диф}2}}{4} \sqrt{(d_1 + 2\delta_2)^2 - a_{\text{диф}2}^2}, \quad (2.127)$$

где $a_{\text{диф}2}$ - длина хорды $|BC|$, м.

Подставим (2.126) в (2.125) и получим:

$$\varphi_{\text{диф}2} = \left(1 - \frac{4 \cdot S_{BDC}}{\pi [(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2]} \right), \quad (2.128)$$

или после подстановки (2.127):

$$\varphi_{\text{диф}2} = \left(1 - \frac{(d_1 + 2\delta_2)^2 \cdot \arcsin \left(\frac{a_{\text{диф}2}}{d_1 + 2\delta_2} \right) - \frac{a_{\text{диф}2}}{4} \sqrt{(d_1 + 2\delta_2)^2 - a_{\text{диф}2}^2}}{\pi [(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2]} \right). \quad (2.129)$$

При вращении канала обратного хода кормовая смесь, контактирующая с внутренней поверхностью канала обратного хода (дуга BAC) при вращении канала обратного хода смещается в направлении вращения.

Величина смещения будет определяться коэффициентом трения:

$$f_{\text{тр}A} = \text{tg} \varphi_{\text{тр}2}, \quad (2.130)$$

где $f_{\text{тр}A}$ - коэффициент трения корма о внутреннюю стенку канала обратного хода;

$\varphi_{\text{тр}2}$ - угол трения корма о внутреннюю стенку канала обратного хода, град.

При дальнейшем вращении канала обратного хода частицы кормовой смеси контактирующие с внутренней поверхностью канала обратного хода и перемещаются по дуге $B_1A_1C_1$ со скоростью $\mathcal{G}_{\text{окр}1}$:

$$\mathcal{G}_{\text{окр}2} = \omega_1 \cdot (d_1 + 2\delta_2) \cdot K_{\delta_2}, \quad (2.131)$$

где $\mathcal{G}_{окр2}$ - скорость перемещения внутренней поверхности канала обратного хода, м/с;

$K_{\delta 2}$ - коэффициент, учитывающий отставание кормовой смеси от внутренней поверхности канала обратного хода.

Частицы кормовой смеси, достигнув точки C_1 , начинают скатываться вдоль хорды $|B_1 C_1|$ от точки C_1 к точке B_1 и проходят расстояние:

$$|B_1 C_1| = a_{диф2}. \quad (2.132)$$

Из условия неразрывности потока скорость перемещения частичек корма по дуге $B_1 A_1 C_1$ должна соответствовать скорости перемещения кормовой смеси вдоль хорды $a_{диф2}$ из точки C_1 в точку B_1 :

$$\mathcal{G}_{окр2} = \mathcal{G}_{диф3}, \quad (2.133)$$

где $\mathcal{G}_{диф3}$ - скорость перемещения кормовой смеси по хорде $a_{диф2}$, м/с.

Так как шнек находится в наклонном состоянии под углом α_1 , то перемещение смеси будет перемещаться не перпендикулярно корпусу канала обратного хода хорда $a_{диф2}$, но также смещаться вдоль оси корпуса шнека направление движения кормового потока будет отклоняться от хорды $a_{диф2}$ на величину угла наклона шнека, α_1 (рис. 2.11) в точку B_2 , т.е.:

$$a_{диф3} = \frac{a_{диф2}}{\cos \alpha_1}. \quad (2.134)$$

Величина перемещения кормовой смеси за один оборот канала обратного хода будет составлять расстояние $|B_1 B_2|$, которое можно определить по формуле:

$$a_{диф} = a_{диф3} \cdot \sin \alpha_1 = a_{диф2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (2.135)$$

где $a_{диф}$ - величина осевого перемещения кормовой смеси за один оборот канала обратного хода на участке L_{13} , м.

Осевая скорость перемещения кормовой смеси на участке L_{13} определится:

$$\mathcal{G}_{\text{диф}2} = \frac{a_{\text{диф}}}{n_{\text{ш1}}} = \frac{a_{\text{диф}2} \cdot \text{tg} \alpha_1}{n_{\text{ш1}}}, \quad (2.136)$$

где $\mathcal{G}_{\text{диф}2}$ - осевая скорость перемещения кормовой смеси на участке L_{13} , м/с.

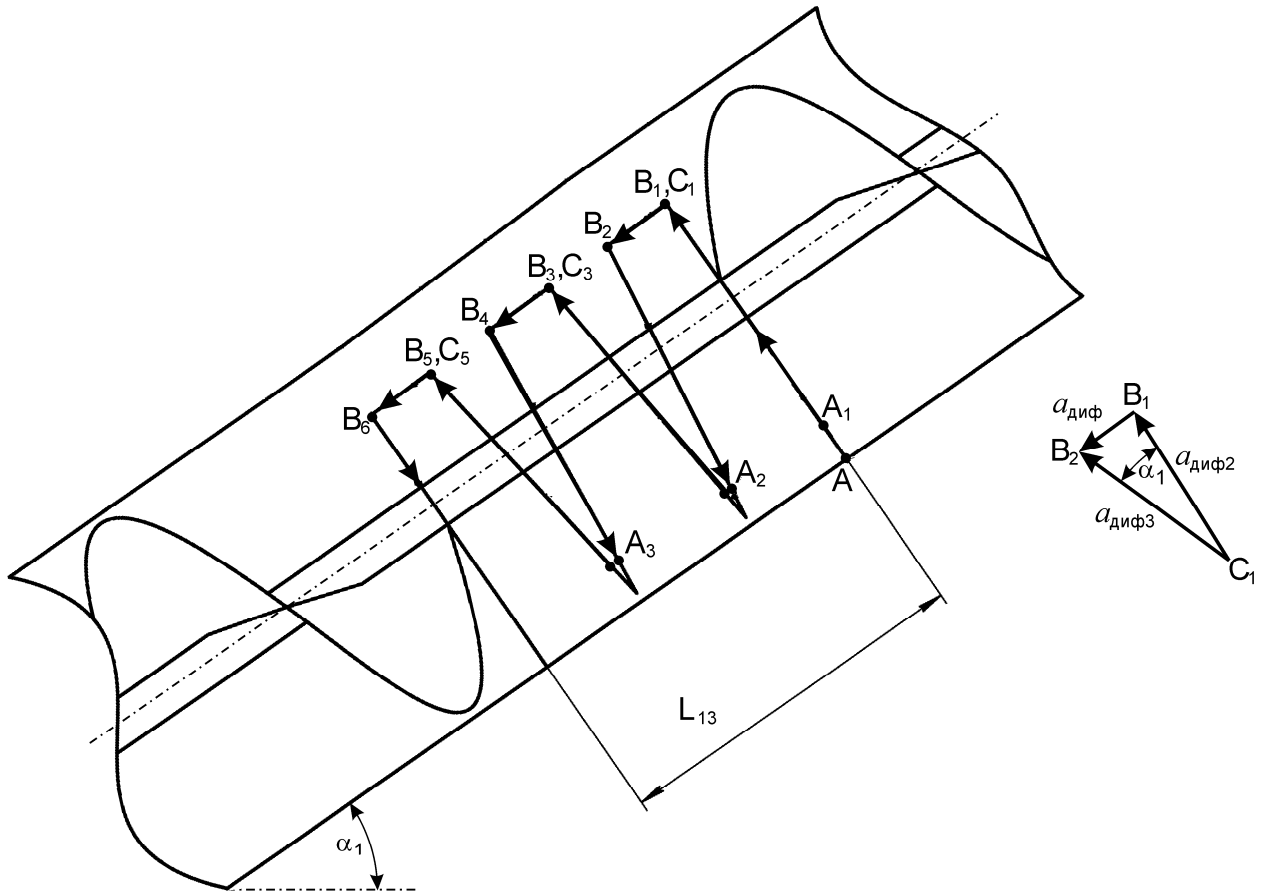


Рисунок 2.11 – Схема движения корма на участке пересыпания дополнительного шнека

В выражении (2.136) расстояние $a_{\text{диф}2}$ будет определяться из выражения (2.134).

Время нахождения кормовой смеси в канале обратного хода дополнительного шнека (участок L_{12}) определится:

$$t_{\text{дон1}} = \frac{L_{12}}{\mathcal{G}_{\text{дон2}}} = \frac{L_{12}}{d_1(n_{\text{дон1}} + n_{\text{ш1}}) \cdot K_{\text{дон1}} \cdot K_{\alpha_2}}, \quad (2.137)$$

где $t_{\partial on1}$ - время нахождения кормовой смеси в канале обратного хода с дополнительным шнеком (участок L_{12}), с.

Время цикла смешивания определится как сумма времени нахождения смеси на каждом участке, т.е.:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{диф1}} + t_{\text{ш2}} + t_{\text{ман}} + t_{\partial on1} + t_{\text{диф2}} + t_{\partial on2}. \quad (2.138)$$

При открытии заслонки в зоне загрузочного окна кормовая масса из бункера 19 (см. рис 2.2) будет поступать на участок L_{11} (рис. 2.3) и шнеком 3 (см. рис 2.2) и перемещаться к тангенциальным лопаткам 7 (участок L_{15}), которые пересыпают кормовую смесь в канал обратного хода 5, по которому под действием дополнительного шнека 4 перемещается в зону загрузки (участок L_{11}).

При достижении кормовой смесью из канала обратного хода шнековой навивки в зоне загрузочного окна (участок L_{11}) смеситель будет заполнен кормовой смесью и начнется циркуляция кормовой смеси в смесителе. В момент достижения кормовой смесью участка загрузки (L_{11}) необходимо закрыть заслонку в зоне загрузочного окна 1. Время загрузки будет соответствовать времени цикла:

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{ц}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{диф1}} + t_{\text{ш2}} + t_{\text{ман}} + t_{\partial on1} + t_{\text{диф2}} + t_{\partial on2}. \quad (2.139)$$

Размеры загрузочного окна оказывают существенное влияние на коэффициент заполнения шнека. В соответствии с рекомендациями [52, 130] ширина окна принимается из условия:

$$B_{\text{заг}} \geq D_1 + 2\delta_1, \quad (2.140)$$

а длина окна определяется из условия:

$$\frac{L_{\text{заг}}}{S_{\text{ш1}}} \geq 1,5 \div 2,5, \quad (2.141)$$

где $L_{\text{заг}}$ - длина загрузочного окна, м;

$B_{\text{заг}}$ - ширина загрузочного окна, м.

Откуда:

$$L_{\text{заг}} \geq (1,5 \div 2,5) \cdot S_{\text{ш1}}. \quad (2.142)$$

При этом необходимо для сыпучих материалов обеспечить условие:

$$\begin{cases} R_{заг} > R_{св} \\ Q_{заг} > Q_{ул} \end{cases}, \quad (2.143)$$

где $R_{заг}$ - гидравлический радиус загрузочного окна, м;

$R_{св}$ - гидравлический радиус сводаобразующего отверстия, м;

$Q_{заг}$ - подача корма через загрузочное окно, кг/с.

В соответствии с исследованиями [30, 52, 130] первое выражение системы (2.143) можно записать:

$$R_{заг} = \frac{(L_{заг} - a')(B_{заг} - a')}{2(L_{заг} + B_{заг} - 2a')} \geq \frac{\tau_0(1 + \sin \alpha_K)}{\rho_H \cdot g} = R_{св}, \quad (2.144)$$

где a' - размер характерных частиц, м;

τ_0 - начальное сопротивление сдвигу, Па;

После преобразования соотношения относительно $L_{заг}$ получим:

$$L_{заг} \geq \frac{2\tau_0(1 + \sin \alpha_K)(B_{заг} - a') + a'(B_{заг} - a')\rho_H \cdot g}{(B_{заг} - a')\rho_H \cdot g - 2\tau_0(1 + \sin \alpha_K)}. \quad (2.145)$$

Подача через загрузочное окно зависит от скорости истечения и физико-механических свойств материала. При боковой загрузке скорость истечения рассчитывают [30, 87]:

$$g_{заг} = \lambda \cdot \sin \alpha_\delta \cdot \sqrt{2g \left(2,1 \cdot R_{заг} - \frac{3,4\tau_0}{\rho_H} \right)}, \quad (2.146)$$

где λ - коэффициент истечения материала;

$\alpha_\delta = (90^\circ - \alpha)$ - угол наклона боковой стенки бункера к горизонту, град.

В соответствии с [111], с учетом выражения для $\sin \alpha_\delta = \sin (90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$ можно записать [111]:

$$g_{заг} = \lambda \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{2g \left(2,1 \cdot R_{заг} - \frac{3,4\tau_0}{\rho_H} \right)}. \quad (2.147)$$

По окончании смешивания для выгрузки готовой смеси открывается заслонка 12 (см. рис. 2.3) в зоне выгрузного окна 10.

Для выгрузки смеси размеры выгрузного окна, аналогично зоне загрузки должны соответствовать условию:

$$\begin{aligned} L_{\text{выг}} &= L_{\text{заг}}, \\ B_{\text{выг}} &= B_{\text{заг}}, \end{aligned} \quad (2.148)$$

где $L_{\text{выг}}$ - длина выгрузного окна, м;

$B_{\text{выг}}$ - ширина выгрузного окна, м.

Для полной разгрузки смесителя от кормовой смеси время выгрузки также должно быть не меньше времени цикла, т.е.:

$$t_{\text{выг}} = t_{\text{ман}} + t_{\text{дон1}} + t_{\text{диф2}} + t_{\text{дон2}} + t_{\text{ул1}} + t_{\text{диф1}} + t_{\text{ул2}}. \quad (2.149)$$

Подача корма через выгрузное окно будет соответствовать подаче кормовой смеси шнековой навивкой:

$$Q_{\text{выг}} = Q_{\text{ул1}} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot D_1 \cdot n_{\text{ул1}} \cdot K_{\text{ул1}} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\text{ул1}} \cdot K_{\alpha1}. \quad (2.150)$$

Анализ выражений подачи на каждом из участков смесителя, показывает, что их подача зависит от конструктивных параметров (наружный и внутренний диаметры винтовых рабочих органов, шаг шнека, длина участка), режимных параметров (частота вращения), физико-механических свойств смешиваемых компонентов кормов, угла наклона корпуса к горизонту, коэффициентов заполнения рабочих органов.

Наиболее загруженным участком смесителя с активным каналом обратного хода является участок L_{12}

При малом зазоре между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, а также толщины стенки канала обратного хода относительно небольшой можно принять, что:

$$D_2 \approx d_1. \quad (2.151)$$

Для исключения смещения кормовой смеси в канале обратного хода вал дополнительного шнека и канал обратного хода должны вращаться в противоположных направлениях, причем [29, 32, 33]:

$$2n_{u1} = n_{\partial on 2} \quad (2.152)$$

Тогда из условия непрерывности потока и исключения застойных зон можно записать:

$$Q_{u1} = Q_{\partial on 2}, \quad (2.153)$$

или

$$\begin{aligned} & \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} \cdot D_1 \cdot n_{u1} \cdot K_{u1} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{u1} \cdot K_{\alpha 1} = \\ & = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} \cdot d_1 \cdot K_{\partial on 2} \cdot n_{\partial on 2} \cdot \rho_n \cdot \varphi_{\partial on 2} \cdot K_{\alpha 2} \end{aligned} \quad (2.154)$$

где $K_{\partial on 2}$ - отношение шага к диаметру дополнительного шнека

Подставим в это условие, что $(D_2 \approx d_1)$ и $(2n_{u1} = n_{\partial on 2})$. Так как количество кормовой смеси, подаваемой шнеком должно соответствовать количеству смеси движущейся по каналу обратного хода, то можно принять, что $\varphi_{\partial on 2} \approx \varphi_{u2}$.

С учетом принятых допущений $(d_2 \ll d_1, D_2 \approx d_1, 2n_{u1} = n_{\partial on 2})$ максимальная производительность смесителя будет определяться следующим соотношением конструктивных параметров:

$$K_L = \frac{D_1}{d_1} \leq \sqrt{1 + \frac{K_{\partial on 2}}{K_{u1} \cdot K_{\alpha 1}^2}}, \quad (2.155)$$

где K_L - соотношение между наружным диаметром шнека и дополнительного шнека.

Производительность смесителя ($Q_{см}$) определяется его полезным объемом, свойствами кормов, временем приготовления смеси и коэффициентом заполнения смесительной камеры. Увеличение коэффициента (φ_n) заполнения

смесительной камеры и полезного объема (V_{nm}) позволит увеличить подачу рабочих органов на каждом из участков смесителя.

При приготовлении смеси максимальное заполнение смесительной камеры будет наблюдаться на участках L_{11} и L_{12} шнековой навивки и в канале обратного хода.

Увеличение длины участков L_{11} и L_{12} позволяет увеличить коэффициент заполнения смесителя, и, как следствие, производительность смесителя.

Для эффективной подачи кормовой смеси количество витков шнековой навивки необходимо принимать кратным целому числу и не менее одного полного витка, т.е. $L_i = k_S S_i$, где $k_S = 1, 2, 3, \dots, n$ – количество витков шнека.

Так как наибольшее значение коэффициента заполнения будет на участках L_{11} и L_{12} , а минимальное значение на участках L_{13} , L_{14} и с учетом размеров загрузочного окна, то можно принять следующие параметры участков:

$$L_{11} = L_{13} = L_{14} = S_{u2} = S_{u1}. \quad (2.156)$$

Увеличение объема смешиваемой кормовой смеси можно достигнуть увеличением длины участка L_{12} , но при этом будет увеличиваться продолжительность цикла t_u , что скажется на производительности.

Объем порции кормовой смеси определится как сумма объемов на каждом из участков смесительной камеры:

$$\begin{aligned} V_{nc} = & \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{11} \cdot \varphi_{u1} + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{12} \cdot \varphi_{u1} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{13} \cdot \varphi_{u\lambda} + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] \cdot L_{14} \cdot \varphi_{u2} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{15} \cdot \varphi_{\text{тан}} + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{14} \cdot \varphi_{\text{дон1}} + \\ & + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{13} \cdot \varphi_{\text{дуф2}} + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot L_{12} \cdot \varphi_{\text{дон2}} \end{aligned}, \quad (2.157)$$

где δ_1 - зазор между наружной кромкой винта и корпусом смесителя, м;

δ_2 - зазор между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, м.

В соответствии с рекомендациями [30, 32, 52, 75, 80, 87, 146] зазоры принимаются в пределах 0,001...0,003 м.

Объемная подача смесителя за цикл определится по выражению:

$$Q_V = \frac{V_{см}}{t_{ц}}, \quad (2.158)$$

где Q_V - объемная производительность смесителя за цикл, м³/с.

Моделирование объемной подачи (приложение Б1) позволило оценить влияние на объемную подачу смесителя в зависимости от отношения шага витка шнека к его диаметру (приложение Б2), представленную на рисунке 2.12, влияния количества витков шнека на участке L_{13} .

Анализ зависимостей (рис. 2.12) показывает, что при количестве n_{12} витков шнека на участке L_{12} более четырех – объемная подача не увеличивается. Это связано с тем, что увеличение количества витков шнека приводит к увеличению полезного объема смесителя, но при этом возрастает продолжительность перемещения кормовой смеси, и, как следствие, времени цикла.

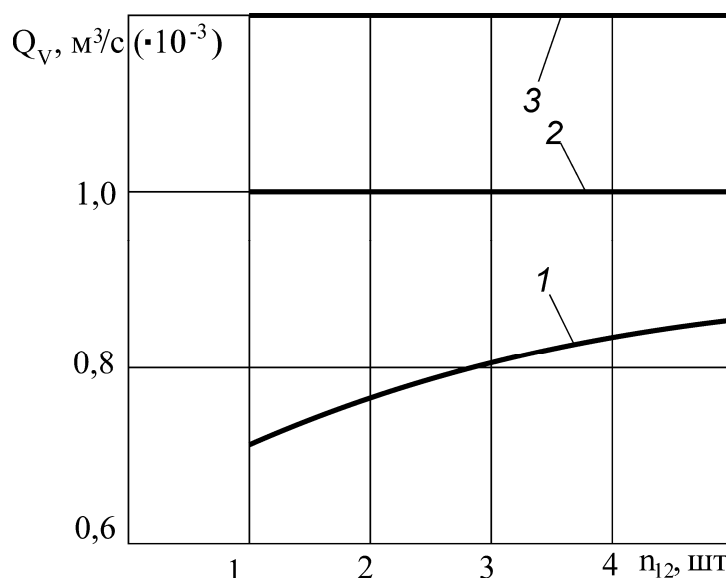


Рисунок 2.12 – Зависимость изменения цикловой подачи в зависимости от количества витков шнека на участке L_{12} при $K_{ш} = 1 - 0,4$; 2 - 0,6; 3 - 0,8

Рациональное количество витков шнека должно составлять семь витков с учетом четырех витков на участке L_{12} .

2.3.4 Определение энергозатрат смесителя с активным каналом обратного хода

Мощность на привод смесителя определится по выражению [29]:

$$N_{см} = N_1 + N_2, \quad (2.159)$$

где $N_{см}$ - мощность на привод рабочих органов смесителя; Вт;

N_1, N_2 - мощность на привод шнека и дополнительного шнека, соответственно, Вт.

Мощность на привод шнека будет определяться по выражению:

$$N_1 = N_{u11} + N_{u12} + N_{u13} + N_{u14} + N_{тан}, \quad (2.160)$$

где N_{u11} - мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{11} (см. рис. 2.3), Вт;

N_{u12} - мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{12} , Вт;

N_{u13} - мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{13} , Вт;

N_{u14} - мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{14} , Вт;

$N_{тан}$ - мощность на привод вала шнека на участке тангенциальных лопаток (на участке L_{15}), Вт.

Мощность на валу шнека на участке L_{11} :

$$N_{u11} = N_{u11n} + N_{u11ж} + N_{u11с} + N_{u11к}, \quad (2.161)$$

где N_{u11n} - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему продукта, Вт;

$N_{u11ж}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о желоб винта, Вт;

$N_{u11с}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о винт, Вт;

$N_{u11к}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме, Вт.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему продукта [146]:

$$N_{ul1n} = P_{ul1n} \cdot v_{ul}, \quad (2.162)$$

где P_{ul1n} - сопротивление подъему продукта, Н;

$$P_{ul1n} = m_{ul1n} \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (2.163)$$

m_{ul1n} - масса корма на участке L_{11} , кг/м;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Масса корма на участке L_{11} определится:

$$m_{ul1n} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] L_{11} \rho_n \varphi_{ul}. \quad (2.164)$$

Подставим (2.164) в (2.163), а затем (2.163), (2.44) в (2.162) и получим:

$$N_{ul1n} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{ul} g L_{11} D_1 n_{ul} K_{ul} K_{\alpha 1} \sin \alpha. \quad (2.165)$$

Мощность на преодоление сопротивления трения корма о желоб [146]:

$$N_{ul1ж} = P_{ul1ж} \cdot v_{ul}, \quad (2.166)$$

где $P_{ul1ж}$ - сопротивление трения корма о желоб, Н;

$$P_{ul1ж} = m_{ul1n} \cdot g \cdot f_{ж} \cdot \cos \alpha, \quad (2.167)$$

$f_{ж}$ - коэффициент трения корма о желоб.

Подставим (2.164) и (2.44) в выражение (2.166):

$$N_{ul1ж} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{ul} g L_{11} f_{ж} D_1 n_{ul} K_{ul} K_{\alpha 1} \cos \alpha. \quad (2.168)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о винт [146]:

$$N_{ul1в} = P_{ul1в} \cdot v_{ul1в}, \quad (2.169)$$

где $P_{ul1в}$ - сопротивление трения корма о винт, Н;

$v_{ul1в}$ - окружная скорость перемещения спирали винта относительно корма, м/с;

$$v_{ul1в} = 2\pi \cdot r_o \cdot n_{ul}, \quad (2.170)$$

r_o - радиус центра тяжести сечения корма в желобе, м,

$$r_o = K_o \frac{D_1}{2}; \quad (2.171)$$

$K_o = 0,7 - 0,9$ – коэффициент, учитывающий заполнение желоба. Меньшее значение принимается при предельном заполнении желоба [146].

После подстановки (2.171) в (2.170) получим:

$$v_{ul1o} = \pi \cdot K_o \cdot D_1 \cdot n_{ul1}. \quad (2.172)$$

Сопротивление трения корма о винт определится [146]:

$$P_{ul1\epsilon} = (P_{ul1\epsilon c} + P_{ul1n}) \cdot f_\epsilon, \quad (2.173)$$

где f_ϵ - коэффициент трения корма о винт.

Подставим (2.163) и (2.167) в (2.173), а затем полученное выражение в (2.164) и получим:

$$P_{ul1\epsilon} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{ul1} g L_{11} f_\epsilon (\sin \alpha + f_{\epsilon c} \cos \alpha). \quad (2.174)$$

Подставим (2.174) и (2.172) в (2.169):

$$N_{ul1\epsilon} = \frac{\pi^3}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{ul1} g L_{11} f_\epsilon (\sin \alpha + f_{\epsilon c} \cos \alpha) K_o \cdot D_1 \cdot n_{ul1}. \quad (2.175)$$

Мощность на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме [146]:

$$N_{ul1k} = P_{ul1k} \cdot v_{ul1o}, \quad (2.176)$$

где P_{ul1k} - сопротивление внутреннего трения в перемешиваемом корме, Н;

$$P_{ul1k} = \frac{(1 - K_{Q11}) \cdot L_{11} \cdot m_{ul1n} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot g \cdot f_\epsilon}{S_{ul1}}, \quad (2.177)$$

K_{Q11} - скоростной коэффициент подачи на участке L_{11} , показывающий отношение фактической скорости продукта к номинальной,

$$K_{Q11} = 0,6 \dots 0,7 \text{ [146].}$$

Подставим (2.177) и (2.172) в (2.176):

$$N_{ul1k} = \frac{\pi^3 (1 - K_{Q11}) L_{11} D_1^2 g f_\epsilon^2 \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n K_o n_{ul1} \varphi_{ul1}}{4 S_{ul1}}. \quad (2.178)$$

Мощность N_{u12} на валу шнека на участке L_{12} определится аналогично участку L_{11} :

$$N_{u12} = N_{u12n} + N_{u12ж} + N_{u12в} + N_{u12к}, \quad (2.179)$$

где N_{u12n} - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему продукта, Вт,

$$N_{u12n} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{12} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \sin \alpha; \quad (2.180)$$

$N_{u12ж}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о желоб винта, Вт,

$$N_{u12ж} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{12} f_{ж} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \cos \alpha; \quad (2.181)$$

$N_{u12в}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о винт, Вт,

$$N_{u12в} = \frac{\pi^3}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{12} f_v (\sin \alpha + f_{ж} \cos \alpha) K_o \cdot D_1 \cdot n_{u1}; \quad (2.182)$$

$N_{u12к}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме, Вт,

$$N_{u12к} = \frac{\pi^3 (1 - K_{Q12}) L_{12} D_1^2 g f_v^2 \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n K_o n_{u1} \varphi_{u1}}{4 S_{u1}}, \quad (2.183)$$

K_{Q12} - скоростной коэффициент подачи на участке L_{12} , показывающий отношение фактической скорости продукта к номинальной,

$$K_{Q12} = 0,6 - 0,7 [146].$$

Мощность на валу шнека на участке L_{13} определится аналогично участку L_{11} . При этом там возникают дополнительные затраты мощности на перемещение кормовой смеси лопатками:

$$N_{u13} = N_{u13n} + N_{u13ж} + N_{u13в} + N_{u13к} + N_{u13л}, \quad (2.184)$$

где $N_{u13н}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему продукта, Вт,

$$N_{u13n} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{13} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \sin \alpha; \quad (2.185)$$

$N_{u13ж}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о желоб винта, Вт,

$$N_{u13ж} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{13} f_{ж} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \cos \alpha; \quad (2.186)$$

$N_{u13в}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о винт, Вт,

$$N_{u13в} = \frac{\pi^3}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{13} f_в (\sin \alpha + f_{ж} \cos \alpha) K_o \cdot D_1 \cdot n_{u1}; \quad (2.187)$$

$N_{u13к}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме, Вт,

$$N_{u13к} = \frac{\pi^3 (1 - K_{Q13}) L_{13} D_1^2 g f_в^2 \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n K_o n_{u1} \varphi_{u1}}{4 S_{u1}}, \quad (2.188)$$

K_{Q13} - скоростной коэффициент подачи на участке L_{13} , показывающий отношение фактической скорости продукта к номинальной,

$$K_{Q13} = 0,6 - 0,7 [146];$$

$N_{u13л}$ - мощность на перемещение кормовой смеси плоскими лопатками, Вт.

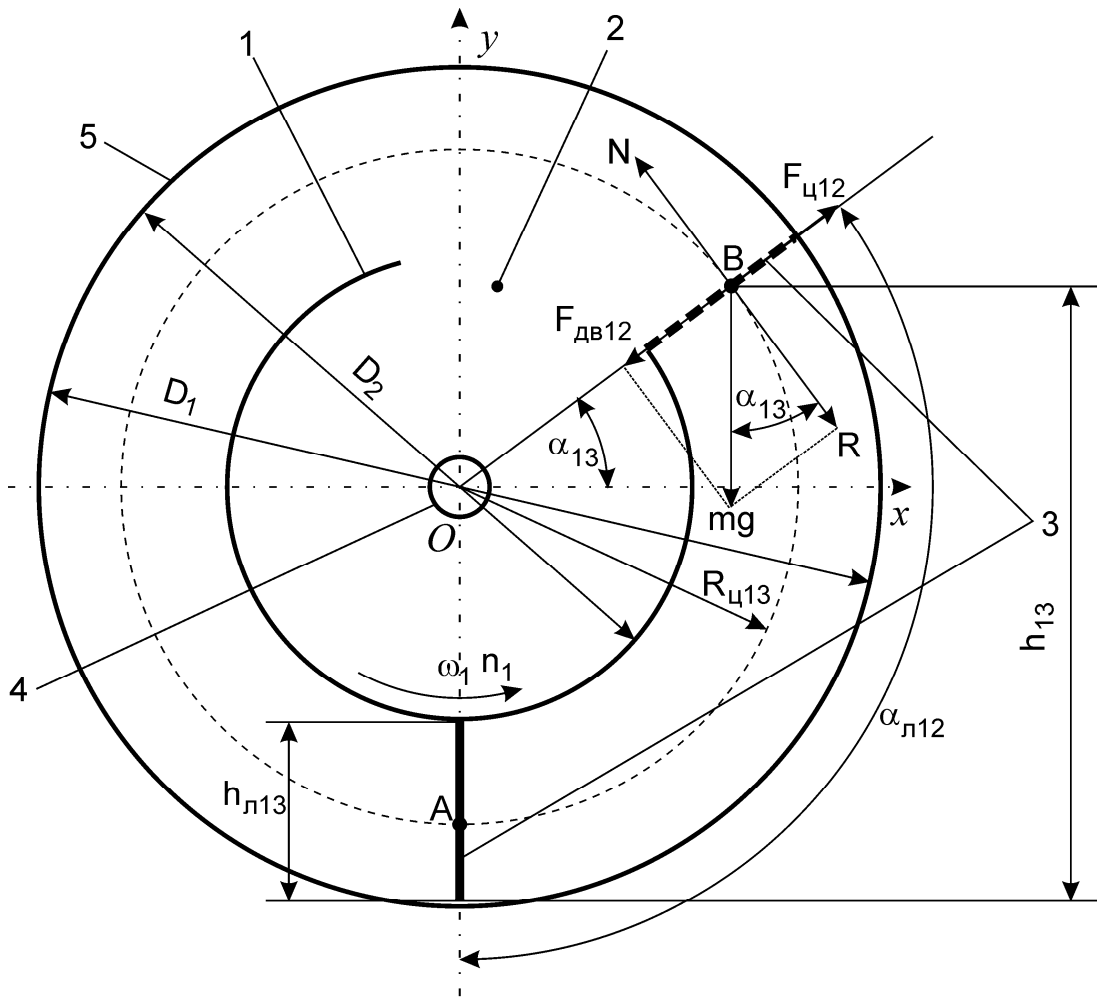
На участке L_{13} при вращении плоской лопатки 3 (рис. 2.13) захватывают порцию кормовой смеси объемом $V_{u1л}$ и поднимают на высоту h_{13} , определяемому углом α_{13} . Затем кормовая смесь сыпается по плоской лопатке 3 через окно 2 в канал обратного хода 1.

Мощность на перемещение кормовой смеси лопаткой определится по выражению [176]:

$$N_{u13л} = g \cdot Q_{u1л} \cdot L_{u1л3} \cdot K_{u1л3}, \quad (2.189)$$

где $L_{u1л3}$ - расстояние, на которое перемещается кормовая смесь под действием лопатки по дуге AB , образованной радиусом R_{u13} (рис. 2.13), м;

$K_{\text{шл}13}$ - коэффициент сопротивления движению, который рекомендуется принимать для зерна дерти равным $K_{\text{шл}13} = 1,2$ [75, 176].



1 – канал обратного хода; 2 – окно; 3 – плоская лопатка; 4 – вал; 5 - корпус
Рисунок 2.13 – Схема сил, действующих на лопатку на участке пересыпания

Расстояние $L_{\text{шл}13}$ определится по выражению:

$$L_{\text{шл}13} = 2\pi \cdot R_{\text{ц}13} \left(\frac{\alpha_{13} + 90^\circ}{360^\circ} \right), \quad (2.190)$$

где $R_{\text{ц}13}$ - радиус приложения силы сопротивления (рис. 2.13), м;

α_{13} - угол поворота лопатки, определяющий высоту подъема кормовой смеси, град.

При движении лопатки, погруженной в кормовую смесь, точка приложения равнодействующей сил сопротивления находится на расстоянии двух тре-

той длины плоской лопатки [30, 75, 87, 176]. С учетом этого условия радиус приложения силы сопротивления определится:

$$R_{y13} = \frac{D_2}{2} + \frac{2}{3} h_{л13} = \frac{D_2}{2} + \frac{2}{3} \cdot \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{2D_1 + D_2}{6}, \quad (2.191)$$

где $h_{л13}$ - высота лопасти, м.

На частицу корма, находящуюся на лопасти действует сила тяжести mg и центробежная сила F_{y12} (рис. 2.13). Условие, при котором частица начнет сходиться с лопасти запишется [30, 75, 87, 176]:

$$F_{об12} \geq F_{y12}, \quad (2.192)$$

или

$$f_{л} \cdot m_k \cdot g \geq m_k \cdot \omega_{u1}^2 \frac{D_1}{2}, \quad (2.193)$$

где ω_{u1} - угловая скорость лопатки, c^{-1} ;

m_k - масса частицы корма, кг;

$f_{л}$ - коэффициент трения смеси о лопасть,

$$f_{л} = tg\alpha_{13}, \quad (2.194)$$

α_{13} - угол, определяющий начало схода кормовой смеси с лопатки, град.

Подставим (2.194) в (2.193) и выразим α_{13} :

$$\alpha_{13} \geq arctg\left(\frac{2g}{\omega_{u1}^2 \cdot D_1}\right). \quad (2.195)$$

Подставим (2.195) и (2.191) в (2.190):

$$L_{uл13} = 2\pi \cdot \frac{2D_1 + D_2}{6} \left(\frac{arctg\left(\frac{2g}{\omega_{u1}^2 \cdot D_1}\right) + 90^\circ}{360^\circ} \right). \quad (2.196)$$

Подставим (2.196), (2.54) в (2.189):

$$N_{u13n} = g \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) b_n \operatorname{tg} \alpha_k \varphi_{u1} \rho_n z_{u1} n_{u1} 2\pi \cdot \frac{2D_1 + D_2}{6} \left(\frac{\arctg \left(\frac{2g}{\omega_{u1}^2 \cdot D_1} \right) + 90^\circ}{360^\circ} \right) K_{u13}. \quad (2.197)$$

Мощность N_{u14} на валу шнека на участке L_{14} определится аналогично участку L_{12} с учетом коэффициента заполнения межвиткового пространства:

$$N_{u14} = N_{u14n} + N_{u14ж} + N_{u14в} + N_{u14к}, \quad (2.198)$$

где N_{u14n} - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему продукта, Вт,

$$N_{u14n} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n g L_{14} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \varphi_{u2} \sin \alpha; \quad (2.199)$$

$N_{u14ж}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о желоб винта, Вт,

$$N_{u14ж} = \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u2} g L_{14} f_{ж} D_1 n_{u1} K_{u1} K_{\alpha 1} \cos \alpha; \quad (2.200)$$

$N_{u14в}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения корма о винт, Вт,

$$N_{u14в} = \frac{\pi^2}{4} \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n \varphi_{u1} g L_{14} f_v (\sin \alpha + f_{ж} \cos \alpha) K_o \cdot D_1 \cdot n_{u1}; \quad (2.201)$$

$N_{u14к}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме, Вт,

$$N_{u14к} = \frac{\pi^3 (1 - K_{Q14}) L_{14} D_1^2 g f_v^2 \left[(D_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_n K_o n_{u1} \varphi_{u2}}{4S_{u1}}, \quad (2.202)$$

K_{Q14} - скоростной коэффициент подачи на участке L_{14} , показывающий отношение фактической скорости продукта к номинальной,

$$K_{Q14} = 0,6 \dots 0,7 \text{ [146];}$$

φ_{u2} - коэффициент заполнения шнека на участке L_{14} .

Мощность $N_{тан}$ на валу шнека на участке тангенциальных лопаток определится по выражению:

$$N_{тан} = g \cdot Q_{тан} \cdot L_{тан} \cdot k_{тан}, \quad (2.203)$$

где $L_{тан}$ - расстояние, на которое перемещается кормовая смесь под действием тангенциальной лопасти по дуге $A_{11}A_{12}$, образованной радиусом $R_{ц15}$, (рис. 2.14), м;

$k_{тан}$ - коэффициент сопротивления движению на участке тангенциальных лопаток.

В общем случае координаты центра тяжести определяются по выражению [70]:

$$R_{ц15} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{танi} \cdot R_{ци}}{\sum_{i=1}^n S_{танi}}, \quad (2.204)$$

где $S_{танi}$ - площади отдельных частей фигуры, м²;

$R_{ци}$ - координаты точек приложения сил тяжести, м;

n - число фигур, на которое разбито рассматриваемое тело, шт.

Общая площадь ячейки, образованной корпусом смесителя, каналом обратного хода и соседними тангенциальными лопастями определится (рис. 2.14):

$$\sum_{i=1}^n S_{танi} = S_{A_1A_2B_2B_1}. \quad (2.205)$$

Общая площадь ячейки состоит из двух фигур: площади сегмента $B_3B_1B_2$ из которой вычленили сегмент $B_3B_5B_1$:

$$S_{A_1A_2B_2B_1} = S_{B_3B_1B_2} - S_{B_3B_5B_1}, \quad (2.206)$$

где $S_{B_3B_1B_2}$ - площадь сегмента $B_3B_1B_2$, м²;

$S_{B_3B_5B_1}$ - площадь треугольного сегмента $B_3B_5B_1$, м².

Координаты центра тяжести ячейки определяется:

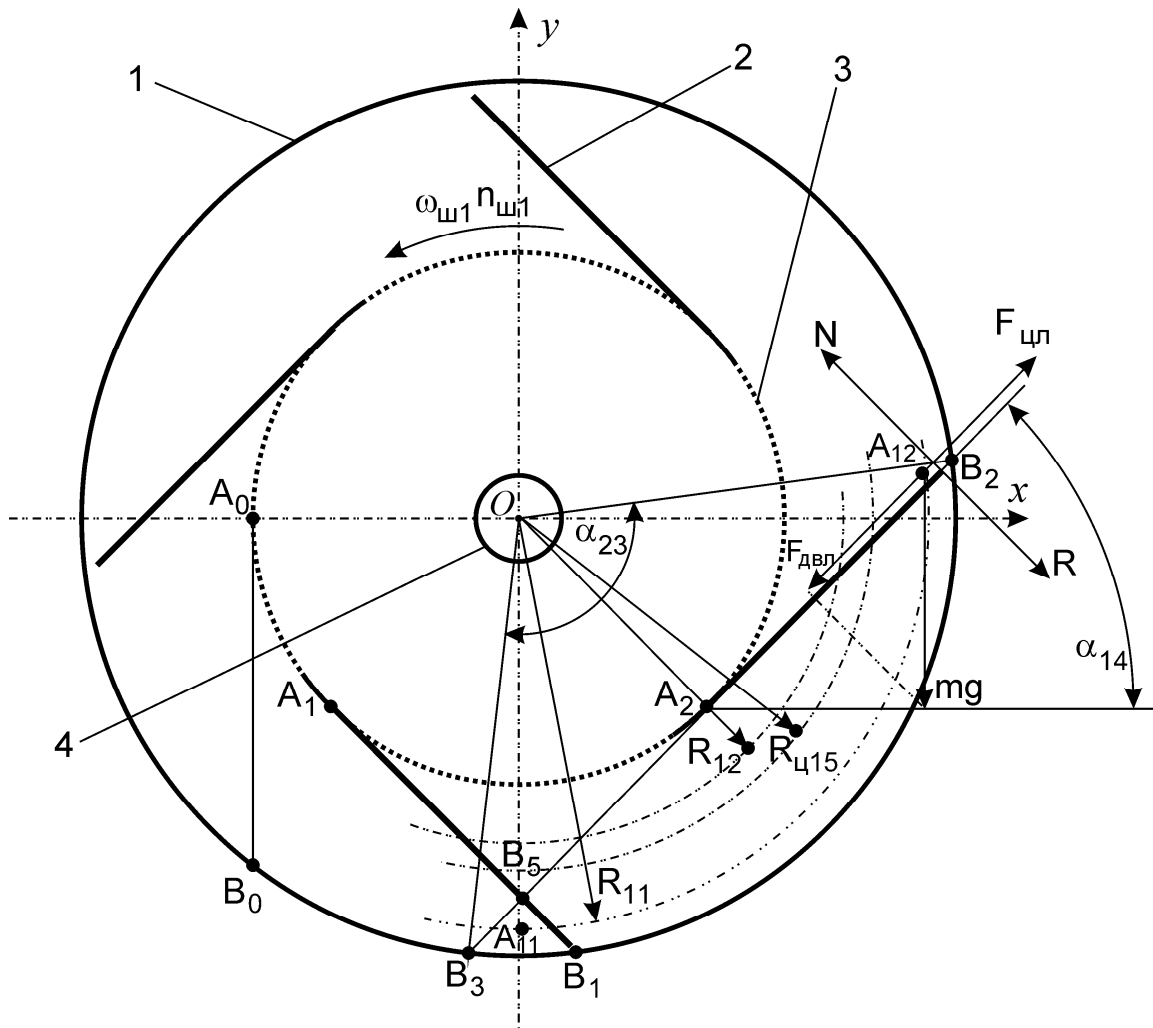
$$R_{ц15} = \frac{S_{B_3B_1B_2} \cdot R_{12} - S_{B_3B_5B_1} \cdot R_{11}}{S_{B_3B_1B_2}}, \quad (2.207)$$

где $S_{B_5B_1B_2}$ - площадь усеченного сегмента $B_5B_1B_2$, м²;

R_{12} - координаты точки приложения сил тяжести сегмента $B_3B_1B_2$, м;

R_{11} - координаты точки приложения сил тяжести треугольного сегмента $B_3B_5B_1$, м;

R_{15} - координаты точки приложения сил тяжести ячейки $B_5B_1B_2$, м.



1- корпус; 2 – лопасть; 3 – окно канала обратного хода; 4 - вал
Рисунок 2.14 – Схема взаимодействия тангенциальной лопасти и корма

Координаты R_{12} точки приложения сил тяжести сегмента $B_3B_1B_2$ определяется (рис. 2.14) [70]:

$$R_{12} = \frac{2}{3} \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)}{\frac{\alpha_{23}}{2} - \sin\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)} = \frac{2D_1 \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)}{\alpha_{23} - 2 \sin\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)}. \quad (2.208)$$

Координаты R_{11} , точки приложения сил тяжести треугольного сегмента определяется как среднее арифметическое координат:

$$R_{11} = \frac{|OB_3| + |OB_1| + |OB_5|}{3}. \quad (2.209)$$

Из рис. 2.14 можно записать:

$$|OB_3| = |OB_1| = \frac{D_1}{2}. \quad (2.210)$$

Из рис. 2.14 расстояние $|OA_1| = |A_1B_5| = \frac{D_2}{2}$. Угол $\angle OA_1B_5 = 90^\circ$. Тогда длина гипотенузы $|OB_5|$ из треугольника OA_1B_5 определится:

$$|OB_5|^2 = |OA_1|^2 + |A_1B_5|^2 = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = \frac{D_2^2}{2}. \quad (2.211)$$

откуда

$$|OB_5| = \frac{D_2}{\sqrt{2}}. \quad (2.212)$$

Подставим (2.212) и (2.210) в (2.209):

$$R_{11} = \frac{\frac{D_1}{2} + \frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{\sqrt{2}}}{3} = \frac{\sqrt{2} D_1 + D_2}{3 \cdot \sqrt{2}}, \quad (2.213)$$

Подставим в (2.207) выражения для (2.213) и (2.208) и получим:

$$R_{y15} = \frac{S_{B_3B_1B_2} \cdot \left(\frac{2D_1 \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)}{\alpha_{23} - 2 \sin\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{23}}{2}\right)} \right) - S_{B_3B_5B_1} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} D_1 + D_2}{3 \cdot \sqrt{2}} \right)}{S_{B_5B_1B_2}}. \quad (2.214)$$

Расчеты координаты R_{y15} точки приложения сил тяжести, полученных по выражению (2.214) и полученных по выражению расчета среднего арифметического значения отличаются незначительно. Поэтому в дальнейших расчетах используем выражение:

$$R_{ц15} = \frac{\frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{2}}{2} = \frac{D_1 + D_2}{4}, \quad (2.215)$$

Угол α_{14} , при котором частица корма, находящиеся на тангенциальной лопатке, будет перемещаться в канал обратного хода, под действием силы тяжести определится из соотношения:

$$F_{\text{двл}} \geq F_{\text{цл}}, \quad (2.216)$$

где $F_{\text{двл}}$ - сила тяжести, приведенная к лопасти, Н;

$F_{\text{цл}}$ - центробежная сила, Н,

или

$$F_{\text{двл}} = f_{\text{л1}} \cdot m_{\text{к}} \cdot g \geq F_{\text{цл}} = m_{\text{к}} \cdot \omega_{\text{цл}}^2 \cdot \frac{D_1}{2}, \quad (2.217)$$

где $f_{\text{л1}}$ - коэффициент трения смеси о лопатку,

$$f_{\text{л1}} = \text{tg} \alpha_{14}, \quad (2.218)$$

α_{14} - угол, определяющий начало схода кормовой смеси с тангенциальной лопатки, град.

Подставим (2.218) в (2.217) и выразим α_{14} :

$$\alpha_{14} \geq \text{arctg} \left(\frac{2g}{\omega_{\text{цл}}^2 \cdot D_1} \right). \quad (2.219)$$

При вращении, находящаяся в положении A_0B_0 тангенциальная лопатка захватывает кормовую смесь и перемещает до положения A_2B_2 , при котором материал под действием силы тяжести перемещается в канал обратного хода. При этом частицы кормовой смеси движутся по дуге B_0B_0 на расстояние $L_{\text{тан}}$ (рис. 2.14), которое определится:

$$L_{\text{тан}} = 2\pi \cdot R_{ц15} \left(\frac{\alpha_{14} + 90^\circ}{360^\circ} \right). \quad (2.220)$$

Подставим (2.219) и (2.215) в (2.220):

$$L_{тан} = 2\pi \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} \cdot \left(\frac{\arctg\left(\frac{2g}{\omega_{u1}^2 \cdot D_1}\right) + 90^\circ}{360^\circ} \right). \quad (2.221)$$

Подставим (2.221) в (2.203) и получим выражение для определения затрат мощности на участке тангенциальных лопаток:

$$N_{тан} = g \cdot Q \cdot 2\pi \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} \cdot \left(\frac{\arctg\left(\frac{2g}{\omega_{u1}^2 \cdot D_1}\right) + 90^\circ}{360^\circ} \right) \cdot k_{тан}, \quad (2.222)$$

Мощность $N_{\partial onl4}$ на валу дополнительного шнека на участке L_{14} определится аналогично участку L_{12} шнека с учетом коэффициента заполнения межвиткового пространства и направления движения кормовой смеси:

$$N_{\partial onl4} = -N_{\partial onl4\Pi} + N_{\partial onl4ж} + N_{\partial onl4в} + N_{\partial onl4K}, \quad (2.223)$$

где $N_{\partial onl4}$ - мощность на валу дополнительного шнека на участке L_{14} , Вт;

$N_{\partial onl4\Pi}$ - мощность на преодоления сопротивления подъему (спуску)

корма на участке L_{14} , Вт. Так как происходит спуск продукта, то принимается со знаком минус,

$$N_{\partial onl4\Pi} = \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot \rho_H \cdot g \cdot d_1 \cdot L_{14} \cdot K_{\partial on2} \cdot n_{\partial onl} \cdot K_{\alpha_2} \cdot \varphi_{\partial onl} \cdot \sin \alpha, \quad (2.224)$$

K_{α_2} - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона оси дополнительного шнека к горизонту. Так как угол наклона не превышает углы внутреннего и внешнего трения, то движения кормовой смеси осуществляется только в межвитковом пространстве шнека и снижение (увеличение) подачи не будет наблюдаться. Поэтому можно принять

$$K_{\alpha_2} = 1;$$

$N_{\partial onl4ж}$ - мощность на преодоление сопротивления трения корма о желоб канала обратного хода на участке L_{14} , Вт,

$$N_{\partial on14\kappa} = \frac{\pi^2}{4} [(d_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2] \cdot \rho_H g \varphi_{\partial on1} L_{14} f_{\kappa} \cos \alpha d_1 K_{\partial on1} n_{\partial on1} K_{\alpha_2}, \quad (2.225)$$

$N_{\partial on14\kappa}$ - мощность на преодоление сопротивления трения корма о винт дополнительного шнека на участке L_{14} , Вт,

$$N_{\partial on14\kappa} = \frac{\pi^2}{4} [(d_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2] \cdot \rho_H \cdot f_{\partial on1} \cdot L_{14} \times; \quad (2.226)$$

$$\times g (\sin \alpha + f_{\kappa} \cdot \cos \alpha) \cdot f_{\kappa} \cdot K_0 \cdot n_{\partial on1} \cdot d_1$$

$N_{\partial on14\kappa}$ - мощность на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме на участке L_{14} , Вт,

$$N_{\partial on14\kappa} = \frac{\pi^3 (1 - K_{\varphi_1}) \cdot L_{14} \cdot d_1^2 \cdot g \cdot f_{\kappa}^2 [(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2] \cdot \rho_H \cdot K_0 \cdot n_{\partial on1}}{4S_{\partial on1}}. \quad (2.227)$$

Мощность $N_{\partial u\phi 2}$ на валу дополнительного шнека на участке L_{13} определится по выражению:

$$N_{\partial u\phi 2} = g \cdot Q_{\partial u\phi 2} \cdot L_{\partial u\phi 2} \cdot k_{\partial u\phi 13}, \quad (2.228)$$

где $L_{\partial u\phi 2}$ - расстояние, на которое перемещается кормовая смесь под действием лопатки по дуге $D_1 D_2$ (рис. 2.15), м.

На лопасть, полностью погруженную в материал, центр приложения силы находится на расстоянии $2/3$ длины лопасти, т.е.:

$$R_{u3} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2} \right) = \frac{d_1 - d_2}{3}, \quad (2.229)$$

где R_{u3} - координата приложения силы к лопатке (рис. 2.15), м [30, 75, 176].

Расстояние $L_{\partial u\phi 2}$ определится:

$$L_{\partial u\phi 2} = 2\pi \cdot \left(\frac{d_1 - d_2}{3} \right) \cdot \left(\frac{\alpha_u + 90^\circ}{360^\circ} \right) = \frac{\pi(d_1 - d_2) \cdot (\alpha_u + 90^\circ)}{540}. \quad (2.230)$$

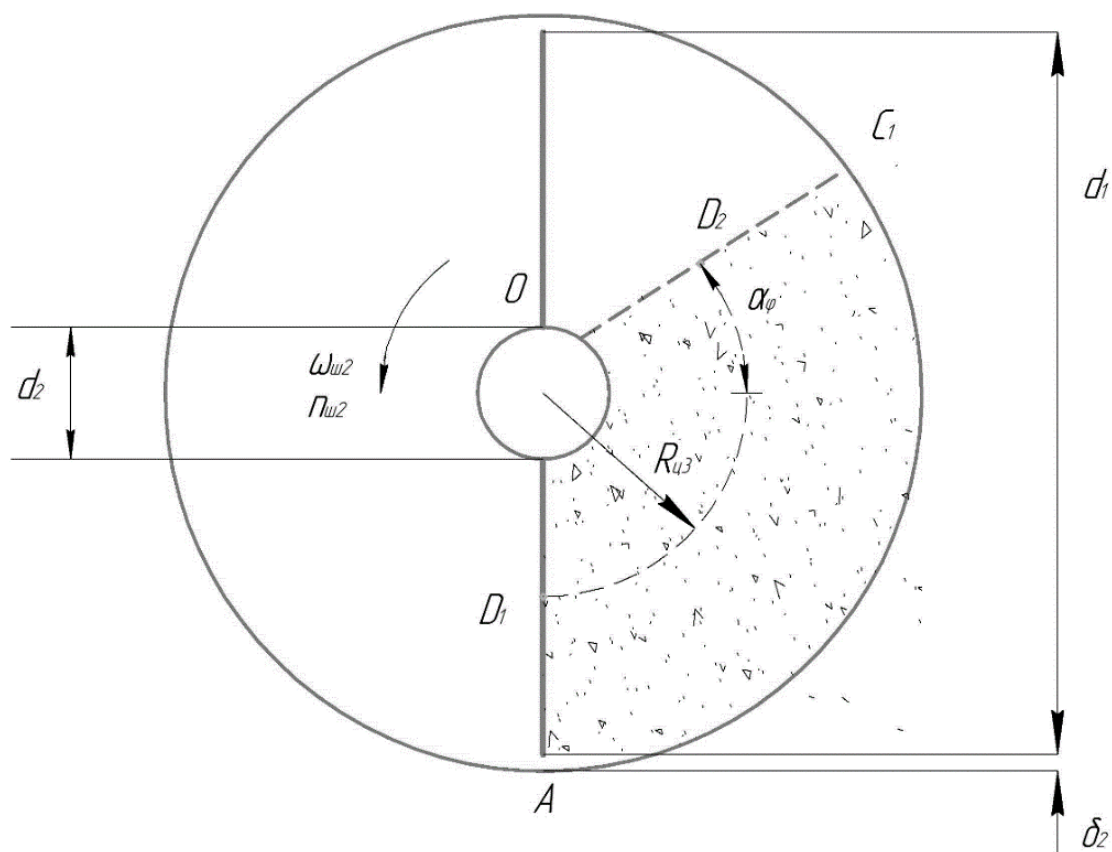


Рисунок 2.15 – Схема определения координаты центра приложения силы на участке пересыпания дополнительного шнека

Подставим (2.230), (2.113) в (2.228):

$$N_{\text{диф}2} = g \cdot \frac{(d_1 - d_2) \cdot \epsilon_{\text{л}}^2 \cdot \text{tg} \alpha_{\text{К}} \cdot \rho_{\text{Н}} \cdot n_{\text{ш}2} \cdot \left(\frac{S_{\text{ш}1}}{\epsilon_{\text{л}}} + 1 \right) \cdot n_{\text{ряд}} \cdot \varphi_{\text{диф}2}}{32} \times \frac{\pi (d_1 - d_2) (\alpha_{\varphi} + 90^\circ)}{540^\circ} \cdot K_{\text{диф}13} \quad (2.231)$$

Мощность $N_{\text{дон}12}$ на валу дополнительного шнека на участке L_{12} определится аналогично L_{14} дополнительного шнека с учетом коэффициента заполнения межвиткового пространства:

$$N_{\text{дон}12} = -N_{\text{дон}12\Pi} + N_{\text{дон}12\text{жс}} + N_{\text{дон}12\text{в}} + N_{\text{дон}12\text{К}}, \quad (2.232)$$

где $N_{\text{дон}12}$ - мощность на валу дополнительного шнека на участке L_{12} , Вт;

$N_{\text{дон}12\Pi}$ - мощность на преодоление сопротивления подъема продукта на участке L_{12} , Вт,

$$N_{\partial on12\pi} = \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2 \right] \rho_H g L_{12} d_1 K_{\partial on2} n_{\partial on1} K_{\alpha_2} \varphi_{\partial on2} \sin \alpha, \quad (2.233)$$

$N_{\partial on12ж}$ - мощность на преодоление сопротивления трения корма о желоб канала обратного хода на участке L_{12} , Вт,

$$N_{\partial on12ж} = \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \cdot \rho_H \varphi_{\partial on2} L_{12} f_{ж} g d_1 \cdot \cos \alpha K_{\partial on1} n_{\partial on1} K_{\alpha_1}, \quad (2.234)$$

$N_{\partial on12\epsilon}$ - мощность на преодоление сопротивления трения корма о винт дополнительного шнека на участке L_{12} , Вт,

$$N_{\partial on12\epsilon} = \frac{\pi^2}{4} \left[(d_1 + 2\delta_1)^2 - d_2^2 \right] \rho_H f_{\partial on1} L_{12} g \times, \quad (2.235)$$

$$\times (\sin \alpha + f_{ж} \cos \alpha) f_{\epsilon} K_0 d_1 \cdot n_{\partial on1}$$

$N_{\partial on12\kappa}$ - мощность на преодоление сопротивления внутреннего трения в перемещаемом корме на участке L_{12} , Вт,

$$N_{\partial on12\kappa} = \frac{\pi^3 (1 - K_{\varphi_1}) \cdot L_{12} \cdot d_1^2 \cdot g \cdot f_{\epsilon}^2 \left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2 \right] \cdot \rho_H \cdot K_0 \cdot n_{\partial on1}}{4S_{\partial on1}}. \quad (2.236)$$

Мощность на привод дополнительного шнека будет определяться по выражению:

$$N_2 = N_{\partial on14} + N_{\partial on13} + N_{\partial on12}. \quad (2.237)$$

Удельные затраты энергии определяются по выражению [32, 33 78, 176]:

$$N_{y\partial} = \frac{N_{см}}{Q_{см}}. \quad (2.238)$$

где $N_{y\partial}$ - удельные затраты энергии на процесс смешивания, Вт·с/кг.

Значение мощности рассчитывается по выражению (2.159) с учетом выражений (2.160) и (2.223). Значение производительности смесителя рассчитывается по выражению (2.35) с учетом выражений (2.2), (2.5), (2.36), (2.171), (2.139) и (2.149).

2.4 Выводы по разделу 2

В результате проведения теоретических исследований были получены следующие результаты.

1. Выявлено, что условиями эффективной работы смесителя являются: фактическая производительность должна быть не ниже технологической; качество смеси, оцениваемое коэффициентом неоднородности, не должно превышать зоотехнических требований; пониженные удельные затраты энергии на процесс смешивания.

2. На основании уточненной классификации смесителей кормов и анализа результатов научных исследований разработана новая конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя периодического действия для сухих рассыпных комбикормов с активным каналом обратного хода (патент на изобретение РФ № 2705334, полезная модель № 6448, Казахстан): смешивающий орган представляет собой шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода; внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с валом, имеющий участок пересыпания с плоскими лопатками вдоль вала; напротив лопаток в канале обратного хода имеются отверстия в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма; напротив отверстий в канале обратного хода на валу шнека установлены плоские лопатки; в конце шнека закреплены тангенциально лопасти с наклоном навстречу движения корма; имеется механизм изменения угла наклона корпуса к горизонту.

В результате принятой схемы смесителя снижается время смешивания за счет разделения и соединения потоков кормовой смеси на участке пересыпания при движении по каналу обратного хода под действием лопаток в дополнительном шнеке и окон в канале обратного хода, а также взаимопроникновению потоков материала при движении кормосмеси под действием шнека от участка загрузки к участку выгрузки.

3. Теоретические исследования позволили получить аналитические зависимости определения:

- полезного объема смесителя от конструктивных параметров корпуса и коэффициента, учитывающего объем рабочих органов;
- производительности от частоты вращения рабочих органов, полезного объема смесителя, времени загрузки, смешивания, выгрузки, коэффициента заполнения смесительной камеры и физико-механических свойств смешиваемых компонентов;
- времени цикла от конструктивно-режимных параметров смесителя и физико-механических свойств смешиваемых материалов из условия неразрывности потока компонентов кормовой смеси;
- объемной подачи смесителя от времени цикла, отношения шага витка шнека к его диаметру;
- коэффициента, учитывающего соотношение между наружными диаметрами шнека и дополнительного шнека для обеспечения максимальной производительности смесителя и коэффициентов: учитывающих отношение шага к диаметру шнека и дополнительного шнека; влияния угла наклона корпуса шнека к горизонту;
- мощности на привод рабочих органов и удельные затраты энергии на процесс смешивания корма от конструктивно-режимных параметров рабочих органов с учетом физико-механических свойств смешиваемых материалов.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В ШНЕКОВОМ СМЕСИТЕЛЕ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА

3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований. Программа экспериментальных исследований

Для определения рациональных параметров режима работы шнекового смесителя с активным каналом обратного хода необходимо провести лабораторные эксперименты, отражающие влияние основных конструктивных, режимных и технологических параметров на качество готового продукта и энергозатраты.

В ходе выполнения экспериментальных исследований была поставлена цель – проверка основных теоретических положений и выводов, а также определение рациональных конструктивно-режимных и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.

Последовательность выполнения экспериментально-исследовательских работ процесса смешивания шнековым смесителем периодического действия с активным каналом обратного хода представлен в виде алгоритма на рис.3.1.

Для разработки программы исследований исходными данными послужили: задачи исследований, гипотеза и ее теоретические разработки, а также общая методика исследований.

В программу экспериментальных исследований, производившихся в несколько этапов (таблица 3.1) входило [7, 14, 17, 22, 167]:

- уточнение и исследование некоторых физико-механических свойств компонентов кормов, на которых проводились лабораторные эксперименты и производственные испытания;

- разработка на основе принципов, предложенных в теоретических исследованиях лабораторного образца шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;

- изучение влияния различных факторов на показатели качества рабочего процесса, производительность (подачу) и энергозатраты смесителя в лабораторных и производственных условиях.



Рисунок 3.1 – Последовательность выполнения экспериментов

Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 52777-2007, СТО АИСТ 19.2-2008, НТП АПК 1.10.16.002-03, НТП АПК 1.10.16.001-02, ОСТ 70.32.2-83, РД 10.19.2-90, РД 26.01.90-85, ГОСТ 13496.3-92, ГОСТ 13496.8-

72, ГОСТ 24055-80, ГОСТ 24059-80, ГОСТ 28254-2014, ГОСТ 8.207-76, ГОСТ Р 57784-2011, М 29.055-87, ОСТ 70.19.2-83, а также рекомендациями и методиками, указанными в [7, 22, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 58, 86, 91, 99, 110, 113, 132, 133, 135, 145].

Таблица 3.1 – Программа экспериментальных исследований

Установка	Этапы проведения экспериментальных исследований	Предмет исследований
Шнековый смеситель с активным каналом обратного хода	1. Уточнение и исследование физико-механических свойств компонентов кормовой смеси.	Насыпная плотность корма, коэффициенты внутреннего и внешнего трения, начальное сопротивление сдвигу, размер характерных частиц, углы насыпания и обрушения, влажность
	2. Лабораторные исследования шнекового смесителя с активным каналом обратного хода: определение рациональных и оптимальных конструктивно-режимных и технологических параметров смесителя; получение данных для проверки сходимости теоретических и экспериментальных положений.	Зависимости изменения подачи кормовой смеси из бункера от величины открытия заслонки. Зависимости изменения подачи кормовой смеси от частоты вращения шнека. Зависимости изменения мощности от частоты вращения шнека. Регрессионные модели частоты вращения рабочих органов, времени смешивания и угла наклона корпуса к горизонту по показателям коэффициента неравномерности смеси и удельных энергозатрат.
	3. Проверка смесителя в производственных условиях.	Сравнительная оценка показателей качества и удельных энергозатрат модернизированного смесителя с базовым.

Обработка полученных результатов проводилась в соответствии с методиками, указанными в [42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 58, 90, 91, 99, 113, 132,

135, 145, 169, 183] с помощью компьютерных программ Statistika 5.0, Excel, математического макета Mathcad [18, 73, 79, 80].

Наименование и характеристика приборов, инструментов и оборудования, использовавшихся при проведении экспериментальных исследований, приведены в приложении В1.

Абсолютную погрешность прибора определяли по выражению:

$$\Delta_a = 0,5 \cdot \Delta_n, \quad (3.1)$$

где Δ_n - цена деления прибора.

Среднеквадратическое отклонение погрешности прибора:

$$S = \frac{\Delta_a}{\sqrt{K}}, \quad (3.2)$$

где K - количество повторностей замеров.

Относительная погрешность измерений определилось по формуле:

$$\delta = \frac{100 \cdot \Delta X}{X_c}, \quad (3.3)$$

где ΔX - абсолютная погрешность измерений.

3.2 Методика определения физико-механических свойств кормосмеси

Эффективность смешивания зависит как от физических свойств компонентов (гранулометрический состав, влажность, насыпная плотность, коэффициенты внутреннего и внешнего трения), так и от параметров оборудования [28, 46, 47, 49, 86, 130, 174, 175, 176].

Основными кормами (до 85%) из всего многообразия компонентов сухих рассыпных комбикормов являются измельченные зерновые (ячмень, пшеница, просо, кукуруза, тритикале); шрот (до 25%), бобовые (соя, бобы, горох, люпин) до 45%, а также грубые корма, отходы зерновой промышленности, минеральные элементы и составы, аминокислоты, витаминизированные примеси, биостимуляторы, мясо-костная мука, мука хвойных и травяных растений, отходы мясные и рыбные, соль, антибиотики [57].

Определение объемной массы исследуемого материала проводилось в соответствии с ГОСТ 28254-2014 [28, 49, 130] (приложение Г1).

Методика определения угла естественного откоса a_0 приведена в приложении Г1 [28, 49, 86, 92, 130, 175, 176]

По результатам замеров определяли коэффициент внутреннего трения по формуле [28, 49, 86, 130, 175, 176]:

$$f_1 = \frac{2h}{A_0 - d_y}, \quad (3.4)$$

где h - высота подъема цилиндра, м;

A_0 - длина основания материала, рассыпавшегося на пластине, м;

d_y - внутренний диаметр цилиндра, м.

Далее находили угол внутреннего трения [49, 176]:

$$\varphi_0 = \arctg \left(\frac{2h}{A_0 - d_y} \right). \quad (3.5)$$

Определение коэффициентов внутреннего и внешнего трения проводилось при помощи трибомера [28, 49, 86, 130, 174, 175, 176] (приложение Г1).

Касательные напряжения среза τ определяли по формуле [130, 176]:

$$\tau = \frac{(T_1 - T_2) \cdot 9,81}{F}, \quad (3.6)$$

где T_2 - сопротивление сдвига рамки с материалом, кг;

T_p - сопротивление подвижной рамки, кг;

F - площадь материала в подвижной рамке, м².

Площадь материала в подвижной рамке находили из соотношения по формуле:

$$F = a_1 \cdot b_1, \quad (3.7)$$

где a_1 и b_1 - длина и ширина подвижной рамки, м.

Вычисление коэффициента внешнего трения производили по формуле [28, 49, 86, 130, 175, 176]:

$$f = \frac{T_2 - T_p}{G_1 + G_2 + G_3}, \quad (3.8)$$

где G_1 , G_2 , G_3 - вес прижимной пластины, груза на прижимной пластине и вес материала в рамке соответственно, кг.

Вес материала в подвижной рамке определяли выражению:

$$G_3 = a_1 \cdot b_1 \cdot h_p \cdot \rho, \quad (3.9)$$

где h_p - высота слоя материала в подвижной рамке, м.

Определение гранулометрического состава сыпучих комбикормов производилось в соответствии с ГОСТ 13496.8-72 [28, 49, 86, 130, 175, 176] (Приложение Г1).

По результатам ситового анализа рассчитывали средневзвешенный диаметр частиц дерти [28, 46, 49, 86, 130, 175, 176]:

$$M = \frac{0,5P_0 + 1,5P_1 + 2,5P_2 + 3,5P_3}{100}, \quad (3.10)$$

где P_0 - остаток на сборном дне, г;

P_1, P_2, P_3 - сход с сит с отверстиями диаметром 1, 2, 3 мм, г.

Определение влажности корма проводили в соответствии с ГОСТ 13496.3-92 [28, 46, 86, 130, 175, 176] (Приложение Г1).

Влажность продукта (W) в процентах вычисляли по формуле:

$$W = 100 \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (3.11)$$

где m_1 - масса навески до высушивания, г;

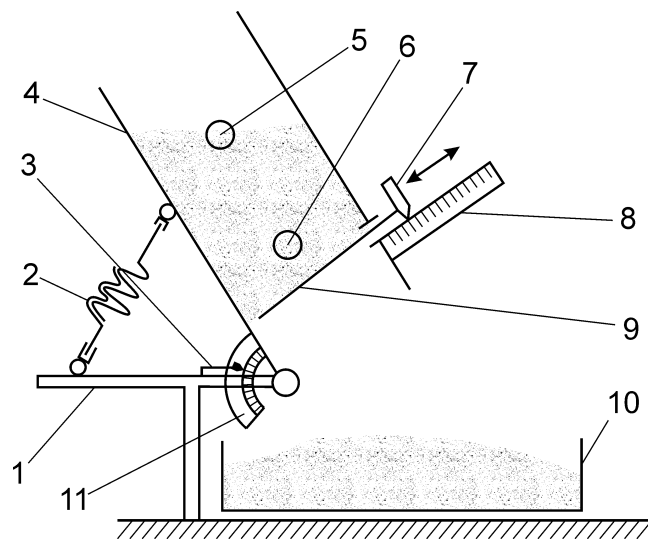
m_2 - масса навески после высушивания, г.

За окончательный результат анализа приняли среднее арифметическое результатов двух параллельных определений [28, 46, 86, 130, 175, 176].

3.3 Исследование подачи кормовой смеси избункера в смеситель

Целью данных исследований являлось выявление влияния величины открытия шиберной заслонки и угла наклона бункера на процесс загрузки смесителя кормовой смесью, состоящей из измельченных зерновых компонентов (ячмень, пшеница).

Схема и общий вид установки представлен на рис. 3.2, рис. 3.3. Установка состоит из закрепленного на оси бункера 4 с шиберной заслонкой 9 и винтовым механизмом 2 (рис. 3.2). Для определения величины открытия заслонки 9 имеется указатель 7 со шкалой 8. Угол наклона бункера к горизонту устанавливался винтовым механизмом 2 и контролировался по угловой шкале 11 указателем угла наклона 3.

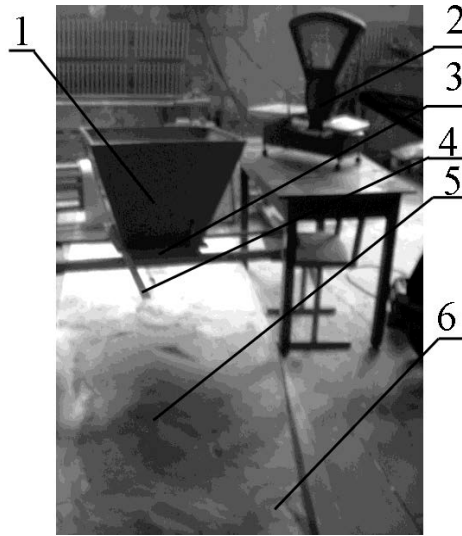


- 1 - стойка; 2- винтовой механизм; 3 - указатель угла наклона бункера;
 4 – бункер; 5 - датчик верхнего уровня; 6 - датчик нижнего уровня;
 7 – указатель положения заслонки; 8 – шкала; 9 – шиберная заслонка;
 10 – приемный бункер; 11 – угловая шкала

Рисунок 3.2 – Экспериментальная установка исследования подачи корма из бункера

Для определения подачи винтовым механизмом 2 бункер устанавливался под необходимым углом к горизонту, который контролировался указателем угла наклона 3 по угловой шкале 11. При закрытой заслонке 9 бункер 4 заполнялся порцией корма, массой $m_{\text{Д}}$. Включался секундомер и одновременно

менно открывалась заслонка 9 на заданную величину, контролируемую по положению указателя 7 на шкале 8.



1 – бункер; 2 – весы РН-10Ц13У; 3 – заслонка; 4 – шкала; 5 - наполнитель;
6 – лента

Рисунок 3.3 – Общий вид установки исследования подачи корма из бункера

Продолжительность выгрузки порции корма из бункера фиксировалась секундомером. Полученные данные заносились в журнал.

Повторность опытов составляет не менее пяти измерений при каждом положении заслонки и угле наклона бункера к горизонту.

Подачу бункера рассчитывалась по формуле [58, 130, 175, 176]:

$$Q_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ni}}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (3.12)$$

где Q_{δ} - подача корма из бункера, кг/с;

m_{ni} - масса i -ой порции корма, кг;

t_i - время, в течении которого происходит истечение i -ой порции корма из бункера, с;

n - количество порций корма, шт.

Факторы, уровни их варьирования, критерии оценки истечения корма из бункера представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Факторы, уровни их варьирования, критерии оценки исследования подачи корма из бункера

Лабораторная установка	Конструктивно-кинематические параметры	Уровни варьирования факторов	Критерии оценки
Бункерное устройство	Положение шиберной заслонки, A , м.	0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25	Подача Q_s , кг/с
	Угол наклона бункера к горизонту, α , град.	0; 10; 15; 20; 25; 30	

3.4 Методика исследования рациональных конструктивно-режимных параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

В ходе теоретических исследований было установлено, что на качество получаемой смеси и удельные энергозатраты процесса смешивания оказывают влияние частота вращения шнека, дополнительного шнека в канале обратного хода, продолжительность смешивания и угол наклона корпуса смесителя к горизонту [27, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 39, 68, 83, 112, 160, 161, 171, 176].

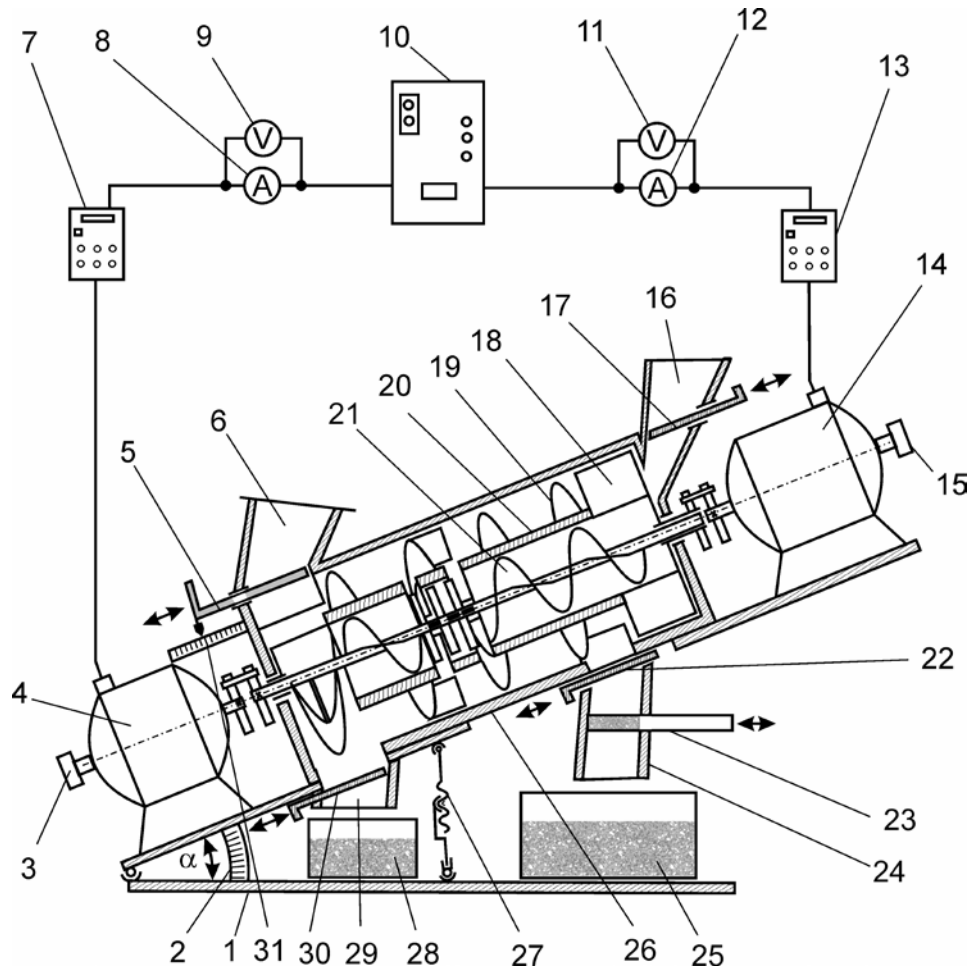
Для проведения экспериментов была разработана экспериментальная установка шнекового смесителя периодического действия с активным каналом обратного хода (рис. 3.4, 3.5, 3.6). Конструкция этой установки позволяет изменять исследуемые параметры и режимы работы смесителя в необходимых пределах [27, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 39, 68, 83, 112, 160, 161, 171, 176].

3.4.1 Методика исследования подачи и мощности на привод шнека

При открытии загрузочной заслонки заполнение корпуса смесителя кормовой смесью осуществляется под действием шнека. Выгрузка кормовой смеси из корпуса смесителя также осуществляется под действием шнека при открытой выгрузной заслонке.

Время цикла и, как следствие, продолжительность получения качественной смеси определяются эффективностью работы шнека, подающего компоненты кормовой смеси от зоны загрузки на участки пересыпания и тан-

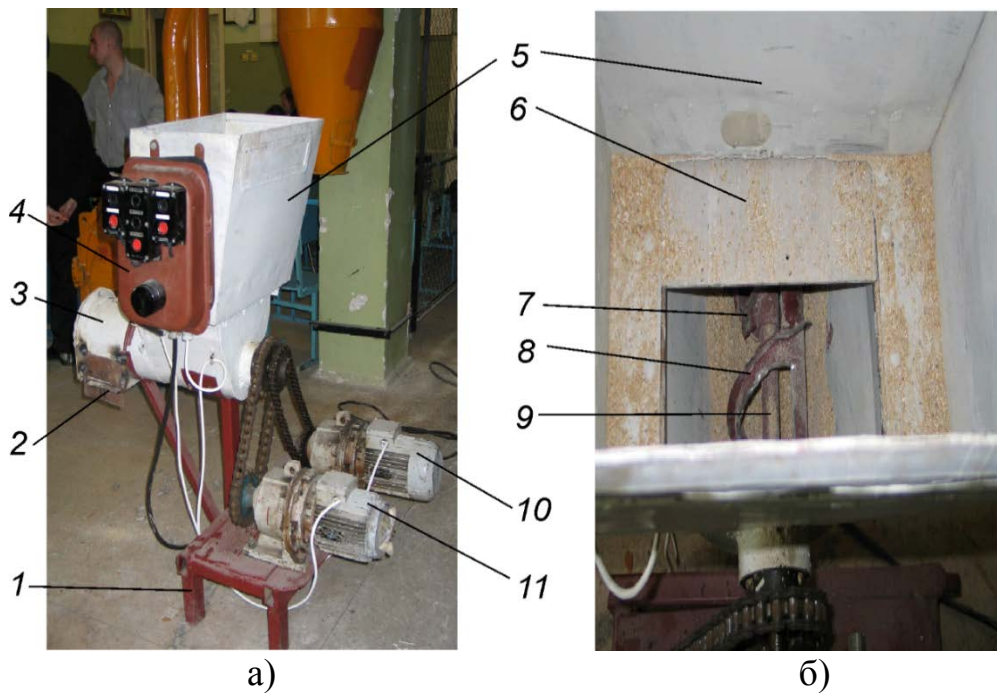
генциальных лопаток. Целью исследования являлось также проверка адекватности полученных теоретических выражений определения подачи и мощности на привод шнекового рабочего органа.



1 – рама; 2 – угломер; 3, 15 - тахометр; 4 - привод шнека; 5, 17, 22, 30 – заслонка; 6 – бункер наполнителя; 7, 13 – частотный преобразователь; 8, 12 – амперметр; 9, 11 – вольтметр; 10 – пульт управления; 14 – привод дополнительного шнека; 16 – бункер контрольного компонента; 18 – тангенциальные лопатки; 19 – шнек; 20 – канал обратного хода; 21 – дополнительный шнек; 23 – пробоотборник; 24, 29 – выгрузной патрубок; 25, 28 – емкость; 26 – корпус смесителя; 27 –винтовой механизм; 31 - шкала

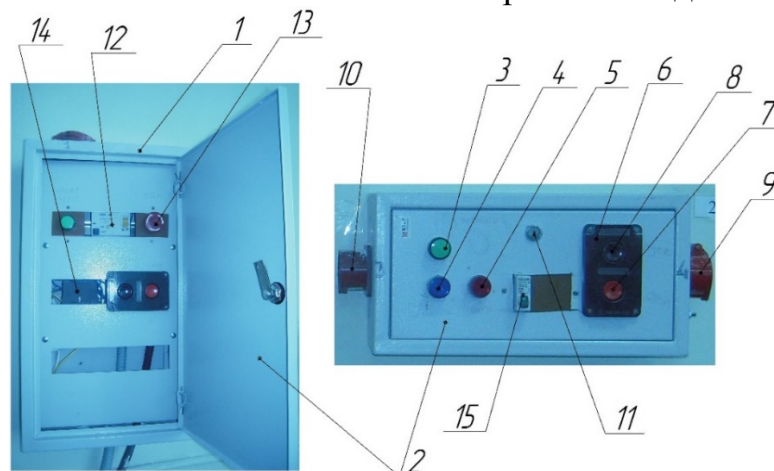
Рисунок 3.4 – Схема экспериментальной установки шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

В порционных шнековых смесителях при горизонтальном расположении шнека коэффициент заполнения находится в пределах 0,3...0,4, а при вертикальном – 0,7...0,8 [23, 27, 30, 37, 59, 75, 78, 79, 80, 151, 152, 175, 176, 182].



а) общий вид смесителя; б) загрузочная часть шнека;
 1 - рама; 2 – выгрузной патрубок; 3 – корпус; 4 – пульт; 5 – бункер; 6 – за-
 слонка; 7 – дополнительный шнек; 8 – шнек; 9 – вал; 10 – привод дополни-
 тельного шнека; 11 – привод шнека

Рисунок 3.5 – Общий вид экспериментальной установки шнекового смесите-
 ля с активным каналом обратного хода



1- ящик; 2 – дверка; 3, 4, 5 – лампочки индикации: зеленая, синяя, красная;
 6 – блок кнопок; 7 – кнопка «Пуск»; 8 – кнопка «Стоп»; 9 - розетка; 10 – вил-
 ка; 11 – замок; 12 – устройство защитного отключения; 13 – «стоп-грибок»;
 14 – магнитный пускатель; 15 – автомат отключения

Рисунок 3.6 - Пульты управления

Наибольшее влияние на качество смеси оказывает изменение окружной скорости вращения шнека в пределах от 0,6 до 1,5 м/с [23, 26, 29, 33, 37, 39, 52, 59, 80, 83, 84, 87, 130, 175, 176].

Увеличение окружной скорости более 2,0 м/с приводит к значительно-му увеличению подачи без существенного изменения качества сме-си. Поэтому, оптимальное значение окружной скорости рабочего органа ре-комендуется выбирать в пределах 1,5...2,0 м/с [23, 26, 29, 33, 37, 39, 52, 59, 80, 83, 84, 87, 130, 175, 176].

На основе этих рекомендаций определены факторы, уровни варьирова-ния, критерии оценки шнекового рабочего органа смесителя, представленные в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Факторы, уровни их варьирования, критерии оценки ис-следования шнека

Лабораторная установка	Конструктивно-кинематические и ре-жимные параметры	Уровни варьирова-ния факторов	Критерии оценки
Шнековый смеситель	Угол наклона корпуса смесителя к горизон-ту, α , град	0; 10; 15; 20; 25; 30; 35	Подача, Q_u , кг/с; Мощность N^u , Вт.
	Частота вращения шнека, n_u , с ⁻¹	1,73; 2,08; 2,43; 2,77; 3,12; 3,47; 3,82	

Время смешивания определялась по показаниям секундомера СОСпр-26-6-000, контроль частоты вращения рабочих органов выполнялся оптиче-ским тахометром DT6236B, частота вращения шнека устанавливалась час-тотным преобразователем «Веспер E2-8300».

Для исследования подачи и мощности на привод шнека 19 (рис. 3.4) в бункер 6 загружается заранее сформированная порция наполнителя (ячмен-ная или пшеничная дерть) или контрольного компонента. Винтовым меха-низмом 27 устанавливался заданный угол корпус 26 смесителя. Угол уста-новки корпуса смесителя контролировался по угломеру 2.

Включался привод 14 шнека 19. Частным преобразователем 13 уста-навливалась необходимая частота вращения шнека 19, которая контролиро-валась тахометром 15. Открывалась заслонка 5 и фиксировалось время начала процесса подачи наполнителя из бункера 6 в загрузочную часть шнека

19. Продолжительность выгрузки порции корма из бункера 6 фиксировалось секундомером.

Подача шнека рассчитывалась по формуле (3.12).

Мощность, необходимая для привода шнека определялась по показаниям амперметров и вольтметров. Общие затраты мощности рассчитывались по выражению [27, 29, 33, 68, 130, 175, 176]:

$$N_{\text{общ}}^{\text{ш}} = N_{\text{ра}}^{\text{ш}} + N_{\text{аа}}^{\text{ш}}, \quad (3.13)$$

где $N_{\text{общ}}^{\text{ш}}$ - общие затраты мощности, Вт;

$N_{\text{ра}}^{\text{ш}}$ - мощность на рабочий ход шнека, Вт;

$N_{\text{аа}}^{\text{ш}}$ - мощность холостого хода шнека, Вт.

Повторность опытов составляла не менее пяти измерений при каждой частоте вращения шнека 19и угле наклона корпуса смесителя к горизонту.

Полученные данные заносились в журнал.

3.4.2 Методика проведения экспериментальных исследований

определения рациональных значений режимных, энергетических и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

Основой методики проведения экспериментальных исследований шнекового смесителя с активным каналом обратного хода была методика планирования многофакторного эксперимента [7, 22, 42, 58, 79, 90, 91, 99, 135, 145, 169, 183].

Критерием оптимизации по показателю качества являлась неоднородность смеси, характеризующая коэффициентом вариации [13, 29, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 59, 68, 78, 84, 91, 103, 104, 113, 150, 151, 175, 176, 178].

Для контроля качества получаемой смеси производилось определение коэффициента вариации V распределения контрольного компонента, отобранным из смесительной емкости лабораторной установки. Масса пробы составляла 5 граммов [13, 29, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 59, 68, 78, 84, 91, 103, 104,

113, 150, 151, 175, 176, 178], точность взвешивания - $\pm 0,01$ грамма. Взвешивание производилось при помощи электронных весов – ВЛКТ-500g-M. В качестве контрольного компонента использовались подкрашенные семена донника, вводимые в количестве 1% к массе готовой смеси с учетом рекомендаций по количеству единиц контрольного компонента в пробе не менее 20 [13, 29, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 59, 68, 78, 84, 91, 113, 103, 104, 150, 151, 175, 176, 178]. В качестве наполнителя смеси применялась смесь пшеничной и ячменной дерти. Масса наполнителя определялась при помощи весов РН-10Ц13У.

Коэффициент вариации определялся по выражению, % [13, 29, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 59, 68, 78, 84, 91, 103, 104, 113, 150, 151, 175, 176, 178]:

$$v = \frac{100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}}{x_{cp}}, \quad (3.14)$$

где x_i - фактическое содержание контрольного компонента в i -ой пробе, гр.;

x_{cp} - среднеарифметическое значение содержания контрольного компонента во всех пробах, гр.;

n - общее количество проб, шт.

За количественный критерий оптимизации были выбраны удельные затраты энергии на процесс смешивания - $N_{y\partial}$. Экспериментальное значение $N_{y\partial}$ определяли по выражению [13, 29, 33, 36, 37, 38, 39, 59, 68, 78, 80, 84, 91, 103, 104, 113, 150, 151, 175, 176]:

$$N_{y\partial}^э = \frac{N_{общ}^{см}}{Q}, \quad (3.15)$$

Общую мощность, потребную на привод рабочих органов смесителя определяли по выражению [23, 27, 29, 32, 33, 83, 84, 176]:

$$N_{общ}^{см} = (N_{p\alpha}^{ш} + N_{\alpha\alpha}^{ш}) + (N_{p\alpha}^{\partial on} + N_{\alpha\alpha}^{\partial on}), \quad (3.16)$$

где $N_{p\alpha}^{\partial on}$ - мощность на рабочий ход дополнительного шнека, Вт;

$N_{\alpha\alpha}^{\text{don}}$ - мощность на холостой ход дополнительного шнека, Вт.

Экспериментальное значение производительности смесителя (кг/с) определяли по формуле [23, 32, 36, 37, 38, 39, 59, 79, 80, 175, 176]:

$$Q_3 = \frac{m_{it}}{t_{см.}}, \quad (3.17)$$

где m_{it} - масса смешанного корма за время опыта, кг. Масса порции кормовой смеси формировалась заранее и загружалась в бункер 6 (рис. 3.4);

$t_{см.}$ - время смешивания, с.

Замер времени смешивания определяли по показаниям секундомера СОСпр-26-6-000, контроль частоты вращения рабочих органов выполнялся оптическим тахометром ДТ6236В, изменение частоты вращения рабочих органов осуществлялось при помощи частотным преобразователей «Веспер Е2-8300» и «TOSHIBAVF-nC1S-2022PL».

На основании априорной информации о процессе смешивания, с учетом конструктивных ограничений экспериментальной установки и данных предварительных экспериментов, были выделены наиболее существенные факторы и определены границы их варьирования. Наиболее существенными факторами, оказывающими влияние на качество смеси и удельные затраты энергии процесса смешивания, являются: частота вращения рабочих органов, время смешивания, угол наклона корпуса смесителя к горизонту [1, 23, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 59, 78, 81, 83, 84, 103, 104, 124, 150, 151, 160, 161, 176].

Для упрощения изучения выделенных факторов, они преобразуются в условные единицы по формулам [43, 79, 99, 145]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (3.18)$$

$$\varepsilon = \frac{X_i^s + X_i^H}{2}, \quad (3.19)$$

где x_i - кодирование значение фактора;

X_i - натуральное значение фактора;

X_{0i} - натуральное значение фактора на нулевом уровне;

ε - натуральное значение интервала варьирования фактора;

X_i^a - значение фактора на верхнем уровне;

X_i^H - значение фактора на нижнем уровне.

Факторы, уровни их варьирования, критерии оценки качества смеси и удельных затрат энергии шнекового смесителя представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Факторы, интервалы и уровни их варьирования исследования смесителя

Код	Факторы	Уровни и интервалы варьирования факторов			
		-1	0	+1	ε
x_1	Частота вращения рабочих органов, $n_{p.o.}, (с^{-1})$	2,5	3,0	3,5	0,5
x_2	Время смешивания, $t_{см}, с$	120	180	240	60
x_3	Угол наклона корпуса, град	25	30	35	5

Для проведения эксперимента и получения модели процесса в виде полинома второй степени был выбран некомпозиционный план второго порядка Бокса и Бенкина [43, 79, 99, 145]. План эксперимента приведен в приложении Д1 [43, 79, 99, 145]. Порядок проведения экспериментов определялся в соответствии с таблицей случайных чисел. Коэффициенты регрессии при таком плане вычисляются по формулам [43, 79, 99, 145]:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^n Y_{0u}; \quad (3.2-)$$

$$b_i = A \sum_{j=i}^N x_{ij} y_j; \quad (3.21)$$

$$b_{il} = D \sum_{j=i}^N x_{ij} x_{lj} y_j; \quad (3.22)$$

$$b_{il} = B \sum_{j=i}^N x_{ij}^2 y_j - B \sum_{l=i}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{n_0 p} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (3.23)$$

где b_0, b_i, b_{ii}, b_{il} - коэффициенты регрессии, причем $i \neq l$;

y_{0u} - значение функции отклика в u -ом опыте центре плана;

u - номер параллельного опыта;

n_0 - число опытов в центре плана;

N - число строк в матрице планирования;

j - номер опыта в матрице планирования;

i, l - номера факторов;

x_{ij}, x_{lj} - кодированные значения i -го и l -го факторов j -ом опыте;

y_j - значение функции отклика j -ом опыте;

k - число факторов;

A, B, C, D, p - константы, зависящие от количества факторов.

Дисперсии коэффициентов регрессии определялись отдельно по формулам [43, 79, 99, 145]:

$$S_{\{b_0\}}^2 = \frac{S_y^2}{n_0}; \quad (3.24)$$

$$S_{\{b_i\}}^2 = AS_y^2; \quad (3.25)$$

$$S_{\{b_{il}\}}^2 = DS_y^2; \quad (3.26)$$

$$S_{\{b_{ii}\}}^2 = B_1 S_y^2, \quad (3.27)$$

где S_y^2 - дисперсия воспроизводимости эксперимента;

B_1 - константы, зависящие от количества факторов.

Значения констант в формулах (3.21) – (3.26) при числе факторов равным трем составили [43, 79, 99, 145]:

$$A = 1/8, B = 1/4, B_1 = 13/48, C = -1/16, D = 1/4, p = 2.$$

Дисперсию воспроизводимости определяли по результатам опытов в центре плана [43, 79, 99, 145]:

$$S_y^2 = \frac{S_E}{(n_0 - 1)}; \quad (3.28)$$

$$S_E = \sum (y_{0u} - \bar{y}_0)^2 ; \quad (3.29)$$

$$\bar{y}_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u} . \quad (3.30)$$

Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. Значение критерия определялось при уровне значимости 0,05 и заданном числе степеней свободы. Значения доверительных интервалов находили по формулам:

$$\Delta b_0 = \pm t S_{\{b_0\}}; \Delta b_i = \pm t S_{\{b_i\}}; \Delta b_{il} = \pm t S_{\{b_{il}\}}; \Delta b_{ii} = \pm t S_{\{b_{ii}\}} . \quad (3.31)$$

Адекватность полученной модели проверяли по критерию Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} , \quad (3.32)$$

где S_{ad} - дисперсия адекватности;

$$S_{ad} = \frac{S_R - S_E}{f^c} , \quad (3.33)$$

S_R - сумма квадратов отклонений эмпирических значений функции оклика от ее значений, вычисленных по модели;

f^c - число степеней свободы;

$$f^c = N - R' - (n_0 - 1) , \quad (3.34)$$

R' - количество значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Модель считается адекватной для приятного уровня значимости и соответствующих степенях свободы, если выполняется условие [79, 99, 145]:

$$F_p < F_T , \quad (3.35)$$

где F_T - табличное значение F -критерия Фишера при заданном уровне значимости [43, 79, 99, 145].

Однородность ряда дисперсий проверяли по критерию G - критерия Кохрена, расчетное значение которого определяется по выражению [99, 145]:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}, \quad (3.36)$$

где S_{\max}^2 - максимальная дисперсия из дисперсий опытов;

S_j^2 - дисперсия опыта.

Дисперсию опыта определим по выражению [43, 79,99, 145]:

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \overline{y_{uj}})^2, \quad (3.37)$$

где n - число параллельных опытов;

y_{uj} - значение параметра оптимизации в u -том параллельном опыте j -той строки матрицы;

$\overline{y_{uj}}$ - среднее значение параметра оптимизации в u -том параллельном опыте j -той строки матрицы.

Дисперсия однородна если выполняется условие [43, 79, 99, 145]:

$$G_p < G_T, \quad (3.38)$$

где G_T - табличное значение критерия Кохрена при заданном уровне значимости [99, 145].

Использовалось 3-х кратная повторность проведения опытов [43, 79, 99, 145].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА

4.1 Общие положения

В экспериментах по исследованию процесса смешивания сухих рассыпных комбикормов проверялись теоретические предпосылки, а также уточнялись или определялись исходные данные, необходимые для выбора оптимальных или рациональных конструктивно-режимных и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.

Аналитические зависимости, полученные в результате теоретических исследований, выражают функциональную связь между конструктивно-режимными и технологическими параметрами, влияющими на показатели качества и энергозатрат процесса смешивания компонентов сухих рассыпных комбикормов.

Выявить влияние конструктивно-режимных и технологических параметров на показатели качества смешивания и энергозатраты невозможно учесть в полной мере, так как был принят ряд допущений и не в полной мере учтены физико-механические свойства смешиваемых компонентов. Поэтому теоретические положения о значимости влияния отдельных факторов на процесс смешивания кормовых компонентов требуют экспериментальной проверки.

Данный этап посвящен выявлению закономерностей, которые не были установлены аналитически, сравнение теоретических исследований с результатами экспериментальных исследований, уточнение аналитических зависимостей, выражающих функциональную связь между конструктивными и режимными показателями, влияющими на процесс приготовления кормовых смесей предлагаемым рабочим органом.

4.2 Уточненные физико-механические свойства кормов

Результаты исследований по определению физико-механических свойств сыпучих кормов, полученные после обработки результатов исследований, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Экспериментальные значения физико-механические свойства исследуемого корма

Показатель	Размерность	Значение
Влажность	%	12,1±0,5
Объемная масса	кг/м ³	646,0±1,0
Модуль помола	мм	1,21±0,02
Угол естественного откоса	град	38,94±1,02
Коэффициент внутреннего трения	f_v	0,43±0,02
Коэффициент трения по стали	$f_{ст}$	0,56±0,02
Начальное сопротивление сдвигу	Па	63,62±0,01

Для оценки полученных значений было произведено их сравнение с опубликованными в открытой печати [28, 32, 81, 100, 130, 176, 178]. Полученные результаты исследований находятся в допустимых пределах.

4.3 Результаты исследования подачи корма из бункера

Для изучения влияния условий загрузки смесителя одним из этапов исследований было определение экспериментальных значений подачи кормовой смеси из бункера. Результаты исследований представлены на рис. 4.1.

С увеличением величины открытия заслонки от 5 до 25 см (рис. 4.1) происходит линейный рост подачи от 0,63 до 17,79 кг/с в зависимости от угла наклона бункера к горизонту от 0 до 30 градусов. Максимальное значение подачи наблюдается при горизонтальном положении бункера, а минимальное при угле наклона бункера к горизонту 30 градусов. Это связано с повышен-

ным трением корма о стенки бункера и как следствие снижением скорости истечения корма через выгрузное отверстие.

При открытии заслонки менее 5 сантиметров наблюдается нарушение подачи, что связано с сводообразованием в зоне выгрузного отверстия.

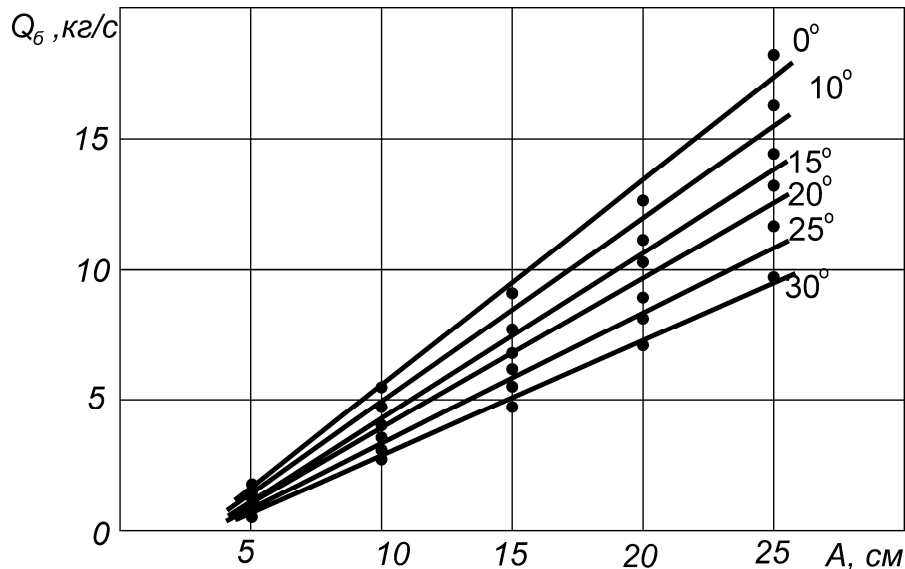


Рисунок 4.1 – Экспериментальные значения подачи кормовой смеси (Q_6) из бункера от положения выгрузной заслонки (A) при углах наклона к горизонту от 0 до 30 градусов

4.4 Результаты исследования подачи и мощности на привод шнека

В ходе теоретических исследований было установлено, что для исключения застойных зон в смесителе необходимо выполнить условие непрерывности потока на каждом из участков смесителя. Формирование потока кормовой смеси задается подачей шнека.

Исследование подачи от частоты вращения шнека показаны на рис. 4.2.

Из анализа рисунка 4.2 можно сделать вывод, что при изменении частоты вращения от $2,0 \text{ с}^{-1}$ до $4,0 \text{ с}^{-1}$ наблюдается рост подачи от 0,18 до 1,9 кг/с, при этом с уменьшением величины угла наклона корпуса смесителя к горизонту подача возрастает. Интенсивное снижение подачи при увеличении угла наклона корпуса смесителя к горизонту наблюдается при соотношении шага к диаметру шнека 0,8 и более. Это связано со снижением транспортирующей способности шнека.

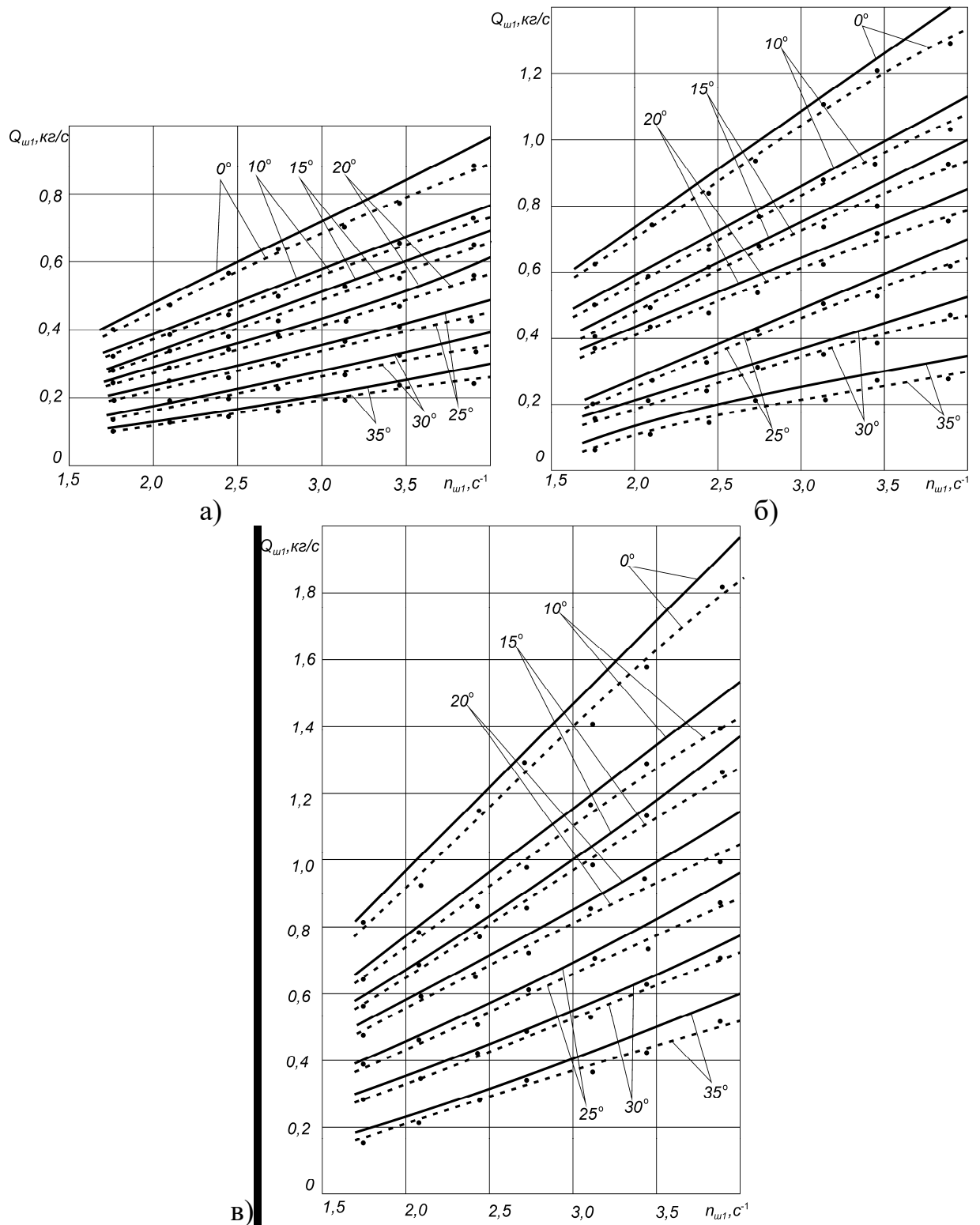
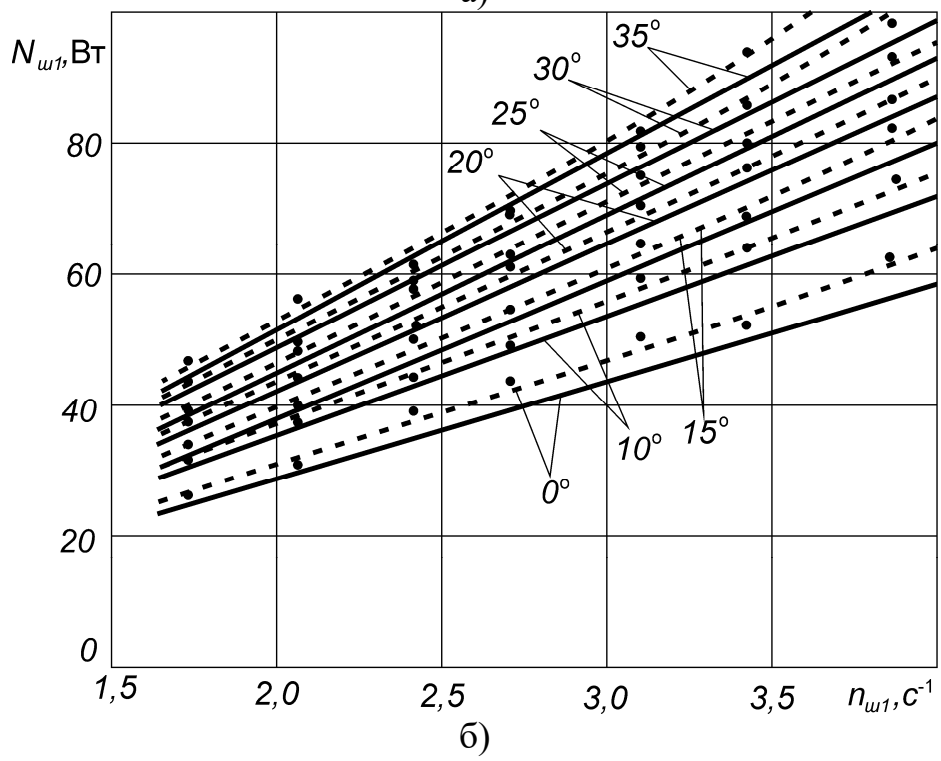
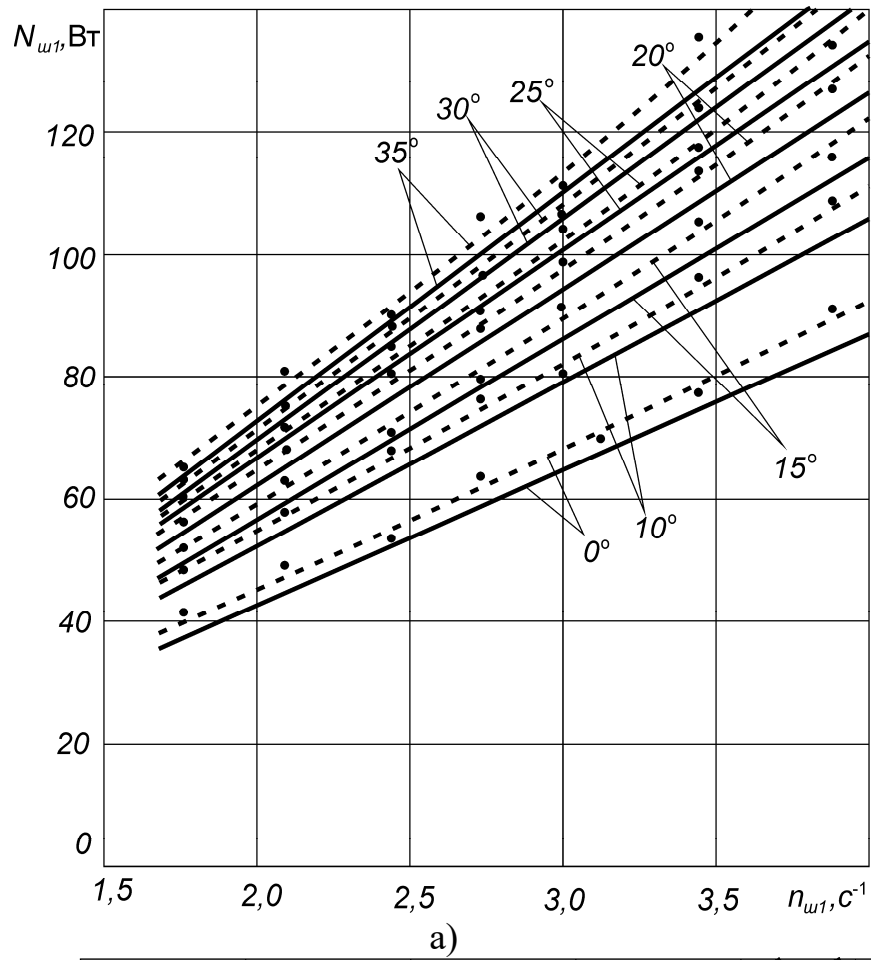


Рисунок 4.2 – Зависимости изменения подачи ($Q_{ш1}$) от частоты вращения шнека при углах установки корпуса от 0 до 35 градусов: а – отношение диаметра к шагу витка 0,4; б - отношение диаметра к шагу витка 0,6; в - отношение диаметра к шагу витка 0,8; _____ теоретические зависимости; - - - экспериментальные зависимости

На рисунке 4.3 представлены зависимости изменения мощности на привод шнека от частоты его вращения.



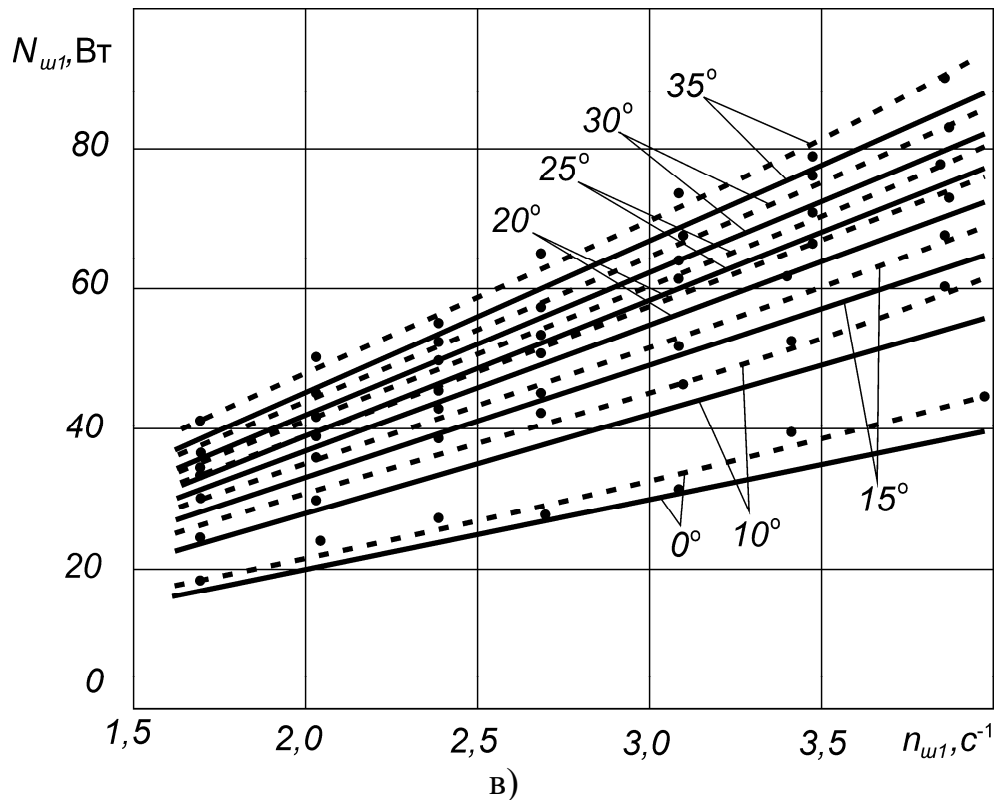


Рисунок 4.3 - Зависимости изменения мощности от частоты вращения шнека:
 а – отношение диаметра к шагу витка 0,4; б - отношение диаметра к шагу витка 0,6; в - отношение диаметра к шагу витка 0,8; _____ теоретические зависимости; - - - экспериментальные зависимости

Из анализа рисунка 4.3 видно, что при изменении частоты вращения шнека затраты мощности возрастают линейно.

При увеличении угла подъема корпуса шнека к горизонту затраты мощности на привод также увеличиваются. Минимальное значение мощности равно 17,21 Вт (рис. 4.3, а) соответствует горизонтальному расположению корпуса шнека, отношению шага винта к диаметру 0,8 и частоте вращения рабочего органа $1,73 \text{ с}^{-1}$. Максимальное значение мощности равно 141,78 Вт (рис. 4.3, в) при угле наклона корпуса 35° , отношении шага винта к диаметру 0,4 и частоте вращения шнека $3,82 \text{ с}^{-1}$.

Более высокое значение мощности, необходимой на привод шнека, объясняется более высокими затратами энергии на трение корма о витки шнека (количество межвитковых ячеек на единицу длины шнека увеличивается), силами внутреннего трения корма при его перемещении в межвитковом пространстве, а также дополнительной работой на подъем продукта.

Для проверки адекватности предложенных выражений сопоставили полученные теоретические значения с экспериментальными. Можно отметить хорошую сходимость полученных теоретических и экспериментальных данных подачи и мощности на привод шнекового рабочего органа. Величина ошибки не превышает 8,97 %.

4.5 Обоснование рациональных значений режимных и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

После реализации эксперимента и обработки полученных данных в соответствии с описанной ранее методикой были получены полиномиальные модели, описывающие зависимость коэффициента вариации (Y_1) (4.1) и удельных затрат энергии (Y_2) (4.2) на процесс смешивания от частоты вращения шнека (x_1), времени смешивания порции корма (x_2) и угла наклона корпуса смесителя к горизонту (x_3):

$$Y_1 = 10,6083 - 3,6126x_1 - 2,3685x_2 + 0,8654x_3 + 0,9091x_1^2 + 0,4396x_2^2 + 0,3003x_1x_2 + 0,4164x_1x_3 - 0,363x_2x_3, \quad (4.1)$$

$$Y_2 = 1706,2 + 135,85x_1 + 469,35x_2 + 197,65x_3 + 62,875x_1^2 + 97,975x_2^2 + 156,05x_1x_2 + 79,65x_1x_3 + 61,5x_2x_3, \quad (4.2)$$

После перехода от кодированных значений к натуральным выражения (4.1) и (4.2) примут вид:

$$N_{уд.}^T = 8233,825 - 3129,4n_{p.o} - 23,775\tau_{см} - 93,22\alpha_n + 251,5n_{p.o.}^2 + 0,0272\tau_{см}^2 + 5,2017n_{p.o.}\tau_{см} + 31,86\alpha_n n_{p.o} + 0,2065\tau_{см}\alpha_n, \quad (4.3)$$

$$v^T = 90,1482 - 34,0404n_{p.o} - 0,0471\tau_{см} - 0,8295\alpha_n + 3,6364n_{p.o.}^2 + 0,0001\tau_{см}^2 + 0,012\alpha_n^2 + 0,1666\alpha_n n_{p.o} - 0,0012\tau_{см}\alpha_n. \quad (4.4)$$

Дисперсионный анализ уравнений показал, что они адекватного описывают результаты эксперимента. В расчетах принят уровень значимости равный 0,95.

Расчеты выполнялись в программе "Microsoft Excel 2007". Результаты расчетов приведены в приложениях Е1 и Е2. Минимальные значения критериев оптимизации в пределах исследования составили: неоднородность смеси, оцениваемая коэффициентом вариации - 6,2...6,4%; удельные затраты энергии на процесс смешивания - 820...850 Вт·с/кг,

Для определения значений режимных и технологических параметров смесителя в точках экстремума воспользуемся методом построения двумерных сечений поверхности отклика [43]. Для нахождения значений функции в точках экстремума, построения сечений поверхностей отклика использовали программу "Mathcad 14" [73].

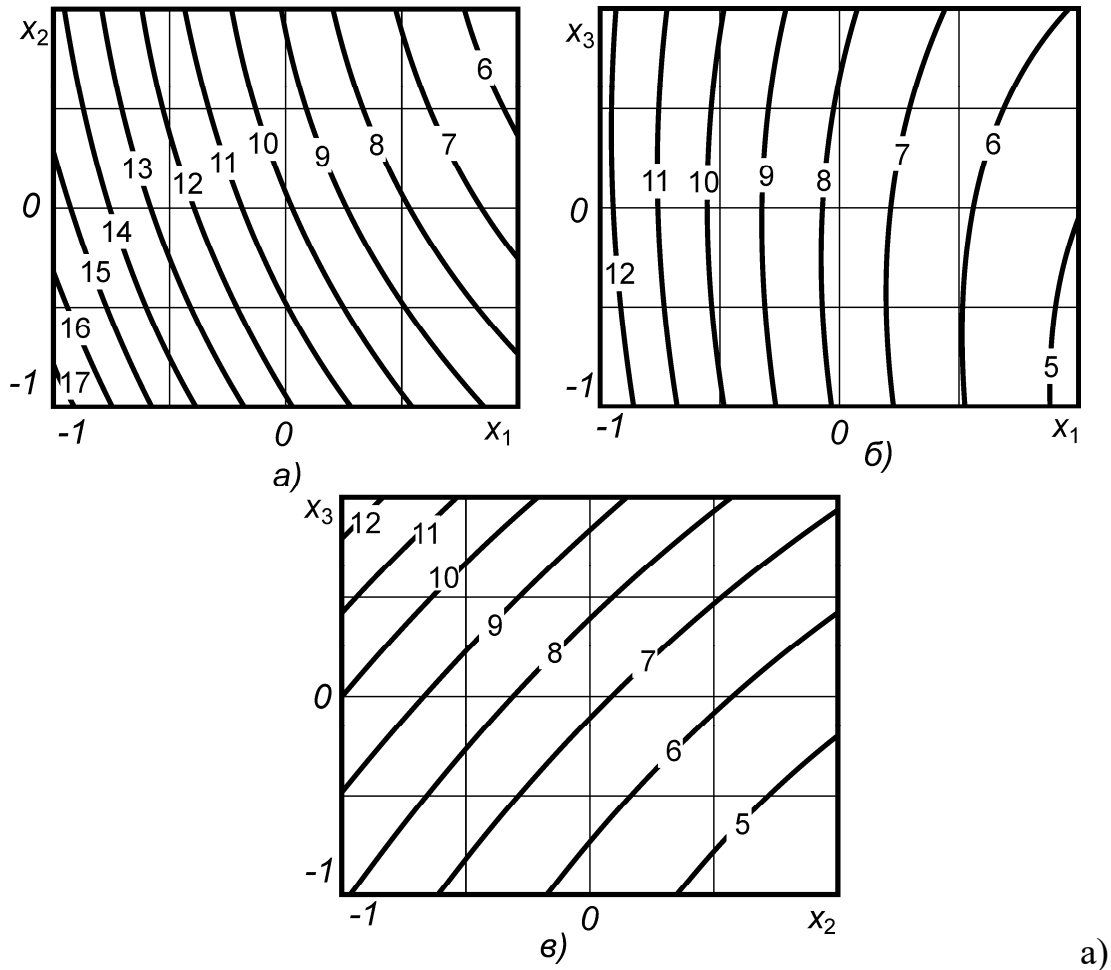
Продифференцировав уравнения (4.1) и (4.2), взяв частные производные первого порядка и приравняв их к нулю, получили две системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dx_1} = 125,75x_1 + 156,05x_2 + 79,65x_3 + 135,85 = 0 \\ \frac{dY_1}{dx_2} = 156,05x_1 + 195,95x_2 + 61,95x_3 + 469,35 = 0 \\ \frac{dY_1}{dx_3} = 79,65x_1 + 61,95x_2 + 197,65 = 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} \frac{dY_2}{dx_1} = 1,8182x_1 + 0,4164x_3 - 3,6126 = 0 \\ \frac{dY_2}{dx_2} = 0,8792x_2 - 0,363x_3 - 2,3685 = 0 \\ \frac{dY_2}{dx_3} = 0,4164x_1 - 0,363x_2 + 0,6006x_3 + 0,8654 = 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Решая системы уравнений (4.5) и (4.6) получили: $x_1^{y_0} = 3,341$; $x_2^{y_0} = -7,486$; $x_3^{y_0} = 7,686$; $x_1^v = 2,448$; $x_2^v = 1,863$; $x_3^v = -2,012$. Полученные значения показывают, что все значения для систем уравнений (4.5) и (4.6) находятся за пределами исследуемой области. Относительно найденных зна-

чений построили двумерные поверхности отклика (рис. 4.6, 4.7), из которых видно, что при увеличении частоты вращения и продолжительности смешивания качество смеси повышается. При этом стоит отметить, что при изменении частоты вращения от $2,5 \text{ с}^{-1}$ до $3,0 \text{ с}^{-1}$ при продолжительности смешивания 180 секунд угол наклона шнека к горизонту существенного влияния на неравномерность не оказывает (рис 4.6, б). То же можно отметить при установке угла наклона корпуса смесителя 30 градусов при изменении частоты вращения шнека в пределах от $2,5 \text{ с}^{-1}$ до $3,0 \text{ с}^{-1}$ угол наклона корпуса смесителя существенного влияния на неравномерность не оказывает.



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

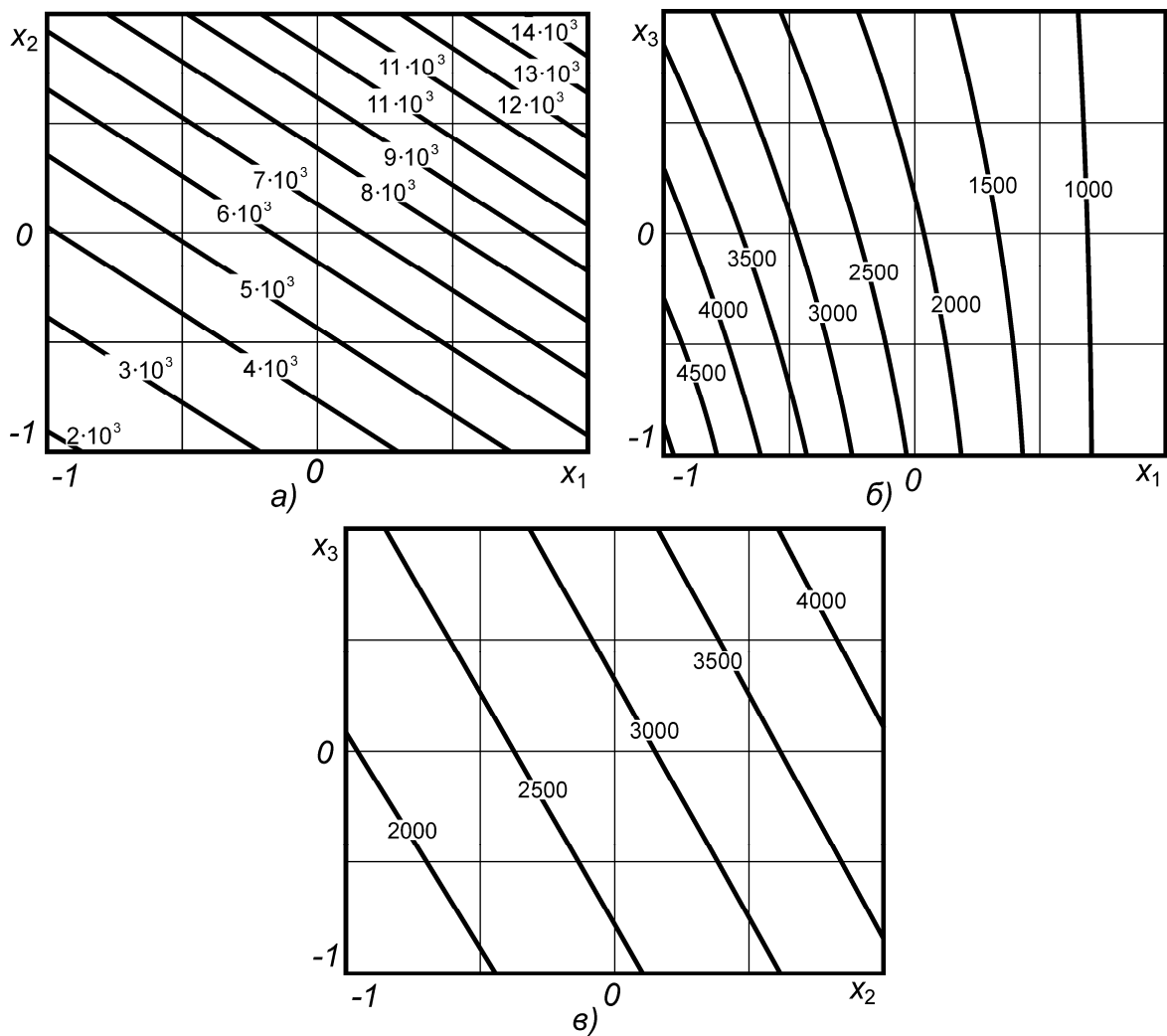
Рисунок 4.6 - Поверхности отклика коэффициента вариации

При увеличении частоты вращения происходит увеличение удельных затрат энергии и уменьшение коэффициента вариации, с увеличением угла наклона корпуса смесителя и продолжительности смешивания происходит

улучшение качества смеси и увеличение удельных затрат энергии при постоянной частоте вращения. С увеличением времени смешивания качество смеси улучшается с одновременным повышением удельных затрат энергии процесса смешивания.

С увеличением времени смешивания и частоты вращения качество смеси улучшается, при этом происходит увеличение удельных затрат энергии на процесс (рис. 4.7, б, в).

Поиск рациональных значений параметров сводится к определению таких их значений, при которых будет достигнуто качество смеси, соответствующее зоотехническим требованиям, с минимальными удельными затратами энергии.



а) $x_3^{y_0} = 7,686$; б) $x_2^{y_0} = -7,486$; в) $x_1^{y_0} = 3,341$;

Рисунок 4.7 - Поверхности отклика удельных затрат энергии

Для нахождения значений режимных и конструктивных параметров смесителя с активным каналом обратного хода, при которых достигаются значения коэффициента вариации не более 10%, построили поверхности отклика в границах эксперимента (рис. 4.8).

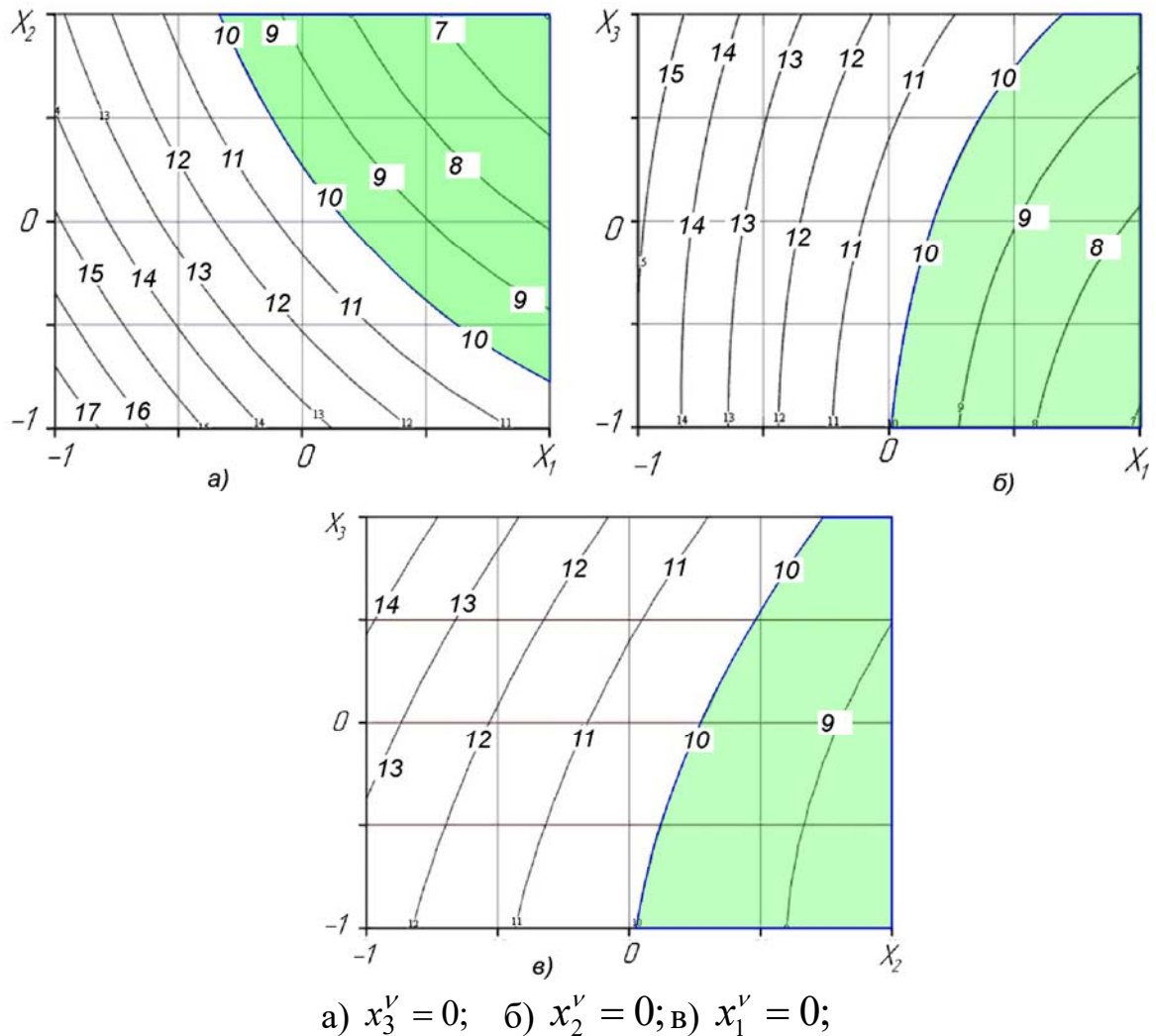


Рисунок 4.8 - Поверхности отклика коэффициента вариации в границах Эксперимента

По графикам (рис. 4.8) определили предельные значения параметров, при которых качество смеси удовлетворяет зоотехническим требованиям, и по ним рассчитали по выражению (4.2) соответствующие им величины удельных затрат энергии на процесс смешивания (табл. 4.2).

Из таблицы 4.2 видно, что наименьшее значение удельных затрат энергии, при котором смесь соответствует зоотехническим требованиям ($v \leq 10\%$) [10, 30, 32, 65, 75, 81, 87, 100, 101, 110, 150, 151, 178], составило 1491 Вт·с/кг

при этом производительность смесителя составит 6,73 кг/с. Наилучшее качество смеси ($\nu = 5,98\%$), будет достигнуто при значениях частоты вращения ($3,5 \text{ с}^{-1}$), времени смешивания (240 с) и угле наклона шнека равном 30° при этом значение удельных затрат энергии составит 2628 Вт·с/кг.

Таблица 4.2 - Предельные значения параметров, для обеспечения минимально допустимого качества смеси

$x_1^{y\delta}$	$x_2^{y\delta}$	$x_3^{y\delta}$	$N_{y\delta}, \text{ Вт}\cdot\text{с/кг}$
0	0	-1	1509
0,72	0	1	2092
1	-0,75	0	1491
-0,35	1	0	2179
0	0,05	-1	1529
0	0,7	1	2324

После перехода от кодированных значений переменных к натуральным получим $n_{p.o.} = 3,5 \text{ с}^{-1}$; $\tau_{см.} = 135 \dots 240 \text{ с}$; $\alpha_n = 30^\circ$, при этом удельные затраты энергии будут находиться в пределах 1491...2628 Вт·с/кг, а коэффициент вариации 10...5,98%.

4.6 Выводы по разделу 4

1. В результате экспериментальных исследований были уточнены значения физико-механических свойств смешиваемых материалов: объемная масса 646 кг/м³; влажность 12,1%; угол естественного откоса 38,94 градуса; коэффициент внутреннего трения 0,43; коэффициент трения по металлу 0,56; модуль помола 1,21. Найденные значения сопоставимы со значениями, полученными другими исследователями.

2. Исследования влияния конструктивных параметров бункера на процесс истечения корма показали, что с увеличением величины открытия заслонки от 5 до 30 см происходит линейный рост подачи от 0,63 до 17,79 кг/с при углах наклона бункера к горизонту от 0 до 35 градусов.

3. Экспериментальные исследования конструктивно-режимных и технологических параметров смесителя позволили установить, что:

- при изменении частоты вращения шнека от $2,0 \text{ с}^{-1}$ до $4,0 \text{ с}^{-1}$ наблюдается линейный рост подачи от 0,18 до 1,9 кг/с, при этом с уменьшением величины угла наклона корпуса смесителя к горизонту подача возрастает. Интенсивное снижение подачи при увеличении угла наклона корпуса смесителя к горизонту наблюдается при соотношении шага к диаметру шнека 0,8 и более.

- минимальное значение мощности равно 17,21 Вт соответствует горизонтальному расположению корпуса шнека, отношению шага винта к горизонту 0,8 и частоте вращения рабочего органа $1,73 \text{ с}^{-1}$ (подача составляет 0,1 кг/с). Максимально значение мощности равно 141,78 Вт при угле наклона корпуса 35° , отношении шага винта к диаметру 0,4 и частоте вращения шнека $3,82 \text{ с}^{-1}$ подача составляет 1,85 кг/с).

- при частоте вращения от $2,5 \text{ с}^{-1}$ до $3,5 \text{ с}^{-1}$, отношении шага шнека к его диаметру равному от 0,6 и 0,8 и угле наклона корпуса шнека к горизонту от 0 до 35 градусов расхождение экспериментальных и теоретических значений подачи шнека и мощности, потребляемой на процесс смешивания, не превышает 8,97 %.

- по результатам проведения многофакторного эксперимента были получены уравнения регрессии, описывающие влияния исследуемых факторов на качество смеси, оцениваемое коэффициентом вариации, и удельные затраты энергии: определены минимальные значения критериев оптимизации в пределах исследования - удельные затраты энергии на процесс смешивания - 1491 Вт·с/кг, неоднородность смеси – 5,98 %; рациональные значения параметров смесителя: частота вращения шнека $n_{ш1} = 3,5 \text{ с}^{-1}$, время смешивания $\tau_{см} = 180...240 \text{ с}$; угол наклона шнека к горизонту $\alpha = 30$ град; при рациональных значениях параметров удельные затраты энергии будут находиться в пределах 1491...2628 Вт·с/кг, неоднородность смеси, оцениваемая коэффициентом вариации - 10...5,98%, производительность - 6,73 кг/с.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО СМЕСИТЕЛЯ

5.1 Производственная проверка шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

На основе теоретических и экспериментальных исследований с учетом определенных рациональных параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода был разработан производственный образец, проверка которого проводилась в кормоприготовительном цехе колхоза-племенного завода имени Ленина Тамбовского района, Тамбовской области в период с 23 ноября по 19 декабря 2020 года (Приложение Ж1).

В базовом варианте приготовление сухого рассыпного комбикорма осуществлялось в кормоцехе колхоза-племенного завода имени Ленина при помощи комбикормового агрегата КУ 2-2, состоящего из дробилки КУ 203 с пневмосбором и двух бункеров-смесителей КУ-100 с дополнительными бункерами-дозаторами для ввода микродобавок и электронной системой взвешивания. Для выгрузки готового корма из смесителей предусмотрены выгрузные шнеки. Для управления смесителями предусмотрены два пульта.

При приготовлении комбикорма зерновые компоненты подаются в дробилку, а из нее в смесители. Также из бункеров-дозаторов в смесители загружаются предусмотренные рационом микродобавки, и, осуществляется смешивание. Выгрузным шнеком готовая смесь подается в кормораздатчик, в количестве, предусмотренном рационом.

Вместо одного из смесителей проектный вариант предусматривает использование шнекового смесителя с активным каналом обратного хода. Готовый корм накапливался в промежуточном бункере.

Общий вид шнекового смесителя комбикормов с активным каналом обратного хода в производственных условиях представлен на рисунке 5.1.

При проведении производственных испытаний по методике, описанной в разделе 3, определялись: качество получаемой смеси; производительность

за час основного времени; фактическая потребляемая мощность на привод смесителей; удельные затраты энергии на процесс смешивания. Результаты испытаний и технические характеристики смесителей представлены в таблице 5.1 [28, 29, 59, 66, 129].



а)



б)



в)

Рисунок 5.1 – Шнековый смеситель комбикормов с активным каналом обратного хода в производственных условиях: а – общий вид; б – загрузка бункера; в - пробоотборник

Таблица 5.1 - Результаты испытаний и технические характеристики смесителей

Показатели	Ед. измерения	КУ-100 (базовый вариант)	Шнековый смеситель с активным каналом обратного хода (проектный вариант)
Установленная мощность	кВт	3,0	1,5
Производительность за час основного времени	т/ч	1,71±0,03	1,12±0,06
Удельные затраты энергии на процесс приготовления смеси (по фактически потребляемой мощности)	кВт·ч/т	1,66±0,02	0,41±0,05
Неоднородность смеси	%	10	7,9±1,9
Масса	кг	450	52

За время испытаний шнекового смесителя с активным каналом обратного хода отказов зафиксировано не было, качество получаемой смеси соответствовало зоотехническим требованиям.

По результатам контрольных наблюдений и производственных испытаний за работой шнекового смесителя, комиссия пришла к выводу, что предложенная конструкция смесителя перспективна и может служить основой для разработки промышленного образца.

Важной составляющей при эксплуатации средств механизации на животноводческих фермах является квалификация обслуживающего персонала. В целях подготовки высококвалифицированных специалистов для агроинженерной отрасли результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертационного исследования были внедрены в учебный процесс (Приложение Ж2).

5.2 Оценка экономической эффективности применения шнекового смесителя комбикормов с активным каналом обратного хода

Расчет экономической эффективности применения шнекового смесителя с активным каналом обратного хода для приготовления сухого рассыпного корма проводился согласно методикам, изложенным в соответствующих работах [77, 81, 126, 127, 133, 144, 155, 176, 183], а также на основании результатов испытаний и литературных данных. Для расчета использовали цены и тарифы сентября 2020 года. Для сравнения был выбран смеситель КУ-100, применяемый в комбикормовой установке КУ-2-2 производства ОАО "Слободской машиностроительный завод", используемой в кормоцехе колхоза-племенного завода имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 5.2 [29, 66, 67, 129]. Расчет объема дополнительных капитальных вложений приведен в приложении 31.

Таблица 5.2 - Исходные данные для расчёта экономической эффективности

Показатели	КУ-100 (базовый вариант)	Шнековый смеситель с активным каналом обратного хода (проектный вариант)
Цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	5,14	5,14
Балансовая стоимость, руб.	196000	97469
Годовая загрузка, ч.	2190	2190
Обслуживающий персонал, чел.	1	1

Определим экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, разницы стоимости и производительности. Удельные приведённые затраты на 1 т., смешанного корма $ПЗ_{уд}$, руб./т., определяется по выражению:

$$ПЗ_{уд} = Э_{зуд} + KB_{уд} \cdot E_H, \quad (5.1)$$

где $\mathcal{E}_{зуд}$ - удельные прямые эксплуатационные затраты, руб./т;

$KB_{уд}$ - удельные капитальные вложения, руб./т;

E_H - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, ($E_H=0,1$).

Удельные прямые эксплуатационные затраты $\mathcal{E}_{зуд}$, руб./т определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{зуд} = \mathcal{Z} + \mathcal{E} + \mathcal{Z}_{ТО и ТР} + A, \quad (5.2)$$

где \mathcal{Z} - затраты по оплате труда, руб./т;

\mathcal{E} - затраты на электроэнергию, руб./т;

$\mathcal{Z}_{ТО и ТР}$ - затраты на техобслуживание и текущий ремонт, руб./т;

A - амортизационные отчисления, руб./т.

Затраты на оплату труда рабочим \mathcal{Z} , руб./т., определяются по формуле:

$$\mathcal{Z} = \frac{C_c \cdot t \cdot n \cdot z \cdot u}{Q_q \cdot T_q}, \quad (5.3)$$

где C_c - часовая тарифная ставка работника, руб.;

t - количество часов работы в смену, ч;

n - число смен, шт.;

z - число рабочих, чел.;

u - число рабочих дней в году;

Q_q - часовая производительность машины, т/ч;

T_q - годовая загрузка агрегата, ч.

Подставим все известные величины в выражение (5.3), тогда затраты на оплату труда для базового варианта:

$$\mathcal{Z}_B = \frac{246 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 365}{1,71 \cdot 2190} = 144,71 \text{ руб./т.}$$

Затраты на оплату труда для проектного варианта:

$$\mathcal{Z}_H = \frac{246 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 365}{1,87 \cdot 2190} = 131,55 \text{ руб./т.}$$

Затраты на электроэнергию \mathcal{E} , (руб./т.), определяются из выражения:

$$\mathcal{E} = U \cdot Ц, \quad (5.4)$$

где U - расход электроэнергии на приготовление одной тонны корма, кВт·ч/т.;

C - цена одного киловатта часов электроэнергии, руб.

Затраты на электроэнергию для базового варианта:

$$\mathcal{E}_B = 1,00 \cdot 5,2 = 5,2 \text{ руб./т.}$$

Затраты на электроэнергию для новой машины:

$$\mathcal{E}_H = 0,86 \cdot 5,2 = 4,49 \text{ руб./т.}$$

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт по нормативам отчислений от балансовой стоимости цены машины $Z_{ТО и ТР}$, руб./т., определяем по формуле:

$$Z_{ТО и ТР} = \frac{B \cdot k}{Q_c \cdot T_c}, \quad (5.5)$$

где B - балансовая стоимость машины, руб.;

k - коэффициент отчислений на техобслуживание и текущий ремонт.

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт базового варианта составляют:

$$Z_{ТО и ТР Б} = \frac{196000 \cdot 0,18}{1,71 \cdot 2190} = 9,4 \text{ руб./т.}$$

В свою очередь, затраты на техобслуживание и текущий ремонт проектного варианта:

$$Z_{ТО и ТР Н} = \frac{110009,75 \cdot 0,18}{1,87 \cdot 2190} = 4,83 \text{ руб./т.}$$

Для определения затрат на амортизацию A , руб./т., воспользуемся формулой:

$$A = \frac{B \cdot k_A}{Q_c \cdot T_c}, \quad (5.6)$$

где k_A - коэффициент отчислений на амортизацию.

Получаем затраты на амортизацию для базового варианта:

$$A_B = \frac{196000 \cdot 0,125}{1,71 \cdot 2190} = 6,5 \text{ руб./т.}$$

А затраты на амортизацию для проектного варианта:

$$A_H = \frac{110009,75 \cdot 0,125}{1,87 \cdot 2190} = 3,36 \text{ руб./т.}$$

Вычислим удельные капитальные вложения $KB_{уд}$, руб./т., по выражению:

$$KB_{уд} = \frac{B}{Q_c \cdot T_c}. \quad (5.7)$$

Удельные капитальные вложения для базового варианта:

$$KB_{уд Б} = \frac{196000}{1,71 \cdot 2190} = 52,3 \text{ руб./т.}$$

Удельные капитальные вложения для проектного варианта:

$$KB_{уд Н} = \frac{110009,75}{1,87 \cdot 2190} = 26,86 \text{ руб./т.}$$

Полученные результаты экономических расчётов сведены в таблицу 5.3.

Удельные прямые эксплуатационные затраты для базового варианта:

$$\mathcal{E}_{зуд} = 144,71 + 5,2 + 9,4 + 6,5 = 165,81 \text{ руб./т.}$$

Удельные прямые эксплуатационные затраты для проектного варианта:

$$\mathcal{E}_{зуд} = 131,55 + 4,49 + 4,83 + 3,36 = 144,23 \text{ руб./т.}$$

Тогда удельные приведённые затраты для базового варианта составят:

$$ПЗ_{уд Б} = 165,81 + 52,3 \cdot 0,1 = 171,04, \text{ руб./т.}$$

Удельные приведённые затраты для проектного варианта составят:

$$ПЗ_{уд Н} = 144,23 + 26,86 \cdot 0,1 = 146,92 \text{ руб./т.}$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_Г$, руб., рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = H_G (ПЗ_{уд Б} - ПЗ_{уд Н}), \quad (5.8)$$

где H_G – годовая наработка новой машины, т.;

$ПЗ_{уд Б}$ – приведённые затраты базового варианта, руб./т.;

$ПЗ_{уд Н}$ – приведённые затраты новой машины, руб./т.

Таблица 5.3 - Результаты расчёта эксплуатационно-экономических показателей использования смесительного агрегата

Показатели	Единица измерения	Вариант		
		Базовый	Проектный	Изменение, %
Затраты по оплате труда	руб./т.	144,71	131,55	- 9,1
Затраты на электроэнергию	руб./т.	5,20	4,49	- 13,65
Затраты на техобслуживание и текущий ремонт	руб./т.	9,40	4,83	- 48,60
Затраты на амортизацию	руб./т.	6,50	3,36	- 48,30
Удельные прямые эксплуатационные затраты	руб./т.	165,81	144,23	- 13,01
Удельные капитальные вложения	руб./т.	171,04	146,92	- 14,10
Годовой экономический эффект	руб.	-	52822,8	-
Срок окупаемости	год	-	0,47	-

Тогда годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_Г = 2190 \cdot (171,04 - 146,92) = 52822,8 \text{ руб.}$$

Экономический эффект за весь срок использования новой машины определяется из выражения:

$$\mathcal{E}_{CC} = \frac{\mathcal{E}_Г}{k_A + E_H} \text{ руб.} \quad (5.9)$$

Отсюда следует, что:

$$\mathcal{E}_{CC} = \frac{52822,8}{0,125 + 0,1} = 234768 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости C_O , лет, новой машины рассчитывается по формуле:

$$C_O = \frac{B}{\mathcal{E}_Г}, \quad (5.10)$$

Подставим значения в выражение (5.11) получим:

$$C_O = \frac{110009,75}{234768} = 0,47 \text{ года}$$

Таким образом, срок окупаемости составляет $\approx 5,6$ месяца.

5.3 Выводы по главе 5

1. Производственная проверка шнекового смесителя комбикормов с активным каналом обратного хода в колхозе-племенном заводе имени Ленина, Тамбовского района, Тамбовской области, показала, что в сравнении со смесителем КУ-100 за счет организации движения компонентов кормосмеси в корпусе смесителя с возможностью их частичного пересыпания в канал обратного хода показала улучшенные показатели качества технологического процесса: неоднородность ниже на 26,6 % и составляют 7,9 %, удельные затраты энергии на процесс приготовления комбикорма снижаются на 75,3 % и составляют 0,41 кВт·ч/т, при этом производительность составляет 1,12 т/ч.

2. Оценка экономической эффективности разработанного смесителя показала, что за счет снижения удельных затрат энергии планируемый годовой экономический эффект составит 234,8 тыс. рублей, срок окупаемости 5,6 месяца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании уточненной классификации смесителей кормов и анализа результатов научных исследований разработана новая конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя периодического действия для сухих рассыпных комбикормов с активным каналом обратного хода, смешивающий орган, представляет собой шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода; внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с валом, имеющий участок пересыпания с плоскими лопатками вдоль вала; напротив лопаток в канале обратного хода имеются отверстия в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма; напротив отверстий в канале обратного хода на валу шнека установлены плоские лопатки; в конце шнека закреплены тангенциально лопасти с наклоном навстречу движения корма; имеется механизм изменения угла наклона корпуса к горизонту.

Принятая конструктивно-технологическая схема смесителя позволяет интенсифицировать процесс взаимопроникновения компонентов кормовой смеси за счет разделения и соединения потоков кормовой смеси на участке пересыпания (патент на изобретение РФ № 2705334, полезная модель № 6448, Казахстан).

2. Теоретические исследования позволили получить аналитические зависимости определения:

- производительности от частоты вращения рабочих органов, полезного объема смесителя, времени загрузки, смешивания, выгрузки, коэффициента заполнения смесительной камеры и физико-механических свойств смешиваемых компонентов;

- времени цикла от конструктивно-режимных параметров смесителя и физико-механических свойств смешиваемых материалов из условия неразрывности потока компонентов кормовой смеси;

- объемной подачи смесителя от времени цикла, отношения шага витка шнека к его диаметру;

- коэффициента, учитывающего соотношение между наружными диаметрами шнека и дополнительного шнека для обеспечения максимальной производительности смесителя и коэффициентов: учитывающих отношение шага к диаметру шнека и дополнительного шнека; влияния угла наклона корпуса шнека к горизонту;

- мощности на привод рабочих органов и удельные затраты энергии на процесс смешивания корма от конструктивно-режимных параметров рабочих органов с учетом физико-механических свойств смешиваемых материалов.

3. Экспериментальные исследования конструктивно-режимных и технологических параметров смесителя позволили установить, что:

- при изменении частоты вращения шнека от $2,0 \text{ с}^{-1}$ до $4,0 \text{ с}^{-1}$ наблюдается линейный рост подачи от 0,18 до 1,9 кг/с, при этом с уменьшением величины угла наклона корпуса смесителя к горизонту подача возрастает. Интенсивное снижение подачи при увеличении угла наклона корпуса смесителя к горизонту наблюдается при соотношении шага к диаметру шнека 0,8 и более.

- минимальное значение мощности равно 17,21 Вт соответствует горизонтальному расположению корпуса шнека, отношению шага винта к горизонту 0,8 и частоте вращения рабочего органа $1,73 \text{ с}^{-1}$ (подача составляет 0,1 кг/с). Максимально значение мощности равно 141,78 Вт при угле наклона корпуса 35° , отношении шага винта к диаметру 0,4 и частоте вращения шнека $3,82 \text{ с}^{-1}$ подача составляет 1,85 кг/с).

- при частоте вращения от $2,5 \text{ с}^{-1}$ до $3,5 \text{ с}^{-1}$, отношении шага шнека к его диаметру равному от 0,6 и 0,8 и угле наклона корпуса шнека к горизонту от 0 до 35° расхождение экспериментальных и теоретических значений подачи шнека и мощности, потребляемой на процесс смешивания, не превышает 8,97 %.

-по результатам проведения многофакторного эксперимента были получены уравнения регрессии, описывающие влияния исследуемых факторов на качество смеси, оцениваемое коэффициентом вариации, и удельные затраты энергии: определены минимальные значения критериев оптимизации в пределах исследования - удельные затраты энергии на процесс смешивания - 1491 Вт·с/кг, неоднородность смеси – 5,98 %; рациональные значения параметров смесителя: частота вращения шнека $n_{ш1} = 3,5 \text{ с}^{-1}$, время смешивания $\tau_{см} = 180...240 \text{ с}$; угол наклона шнека к горизонту $\alpha = 30$ град; при рациональных значениях параметров удельные затраты энергии будут находиться в пределах 1491...2628 Вт·с/кг, неоднородность смеси, оцениваемая коэффициентом вариации - 10...5,98%, производительность - 6,73 кг/с.

4. Производственная проверка шнекового смесителя комбикормов с активным каналом обратного хода в колхозе-племенном заводе имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области показала, что в сравнении со смесителем КУ-100 за счет организации движения компонентов кормосмеси в корпусе смесителя с возможностью их частичного пересыпания в канал обратного хода показала улучшенные показатели качества технологического процесса: неоднородность ниже на 26,6 % и составляет 7,9 %, удельные затраты энергии на процесс приготовления комбикорма снижаются на 75,3 % и составляет 0,41 кВт·ч/т, производительность - 1,12 т/ч.

Оценка экономической эффективности разработанного смесителя показала, что за счет снижения удельных затрат энергии планируемый годовой экономический эффект составит 234,8 тыс. рублей, срок окупаемости 5,6 месяца.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Использование шнековых смесителей периодического действия с активным каналом обратного хода с рекомендованными рациональными режимами и настроечными параметрами смесителя при производстве сухих рассыпных комбикормов в условиях небольших фермерских хозяйств обеспечи-

вают выполнение технологического процесса в соответствии с зоотехническими требованиями и пониженные удельные затраты энергии.

Кроме того, результаты исследований могут быть использованы при разработке новых конструкций смесителей в научно-исследовательских и проектных институтах.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшие работы по совершенствованию конструктивно-режимных параметров смесителя в составе технологических линий для приготовления сухих рассыпных комбикормов в условиях фермерских хозяйств могут иметь следующие направления: исследование влияния на показатели качества смешивания и энергозатрат различного состава компонентов и условий подачи компонентов в смесительную камеру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Algorithm for calculating the power factor of a rotary mixer drive Алгоритм расчета коэффициента мощности привода роторного смесителя / A. V. Chupshev, V. P. Teryushkov, V. V. Konovalov, M. V. Fomina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021), Penza, 16–18 ноября 2021 года. – Penza: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012004. – DOI 10.1088/1755-1315/953/1/012004.
- 2 Mixan, 2011. - URL: <http://pa2311.blogspot.com/p/mixan.html>.
- 3 Paue, E. Handbook of Industrial Mixing/ E. Paue, V. Atiemo - Obeng, S.Kresta // Science and Practice. – 2003. – P.1448.
- 4 Suhadi, W. Die Scheche als Arbeitsorgen in Verarlcitunes- maschinen/ W. Suhadi // Maschinenbautechnik.- 1967. - №5. - P.41-56.
- 5 А.с. № 1186239 СССР, МПК кл.3 В01F13/00. Установка для смешивания сыпучих материалов / В.Ф.Першин, М.М.Свирдлов (СССР); заявитель и патентообладатель Тамбовский институт химического машиностроения; №33541909/23-26; заяв. 11.01.1983; опубл. 23.10.1985, Бюл. № 39. - 2 с.
- 6 Аблаутов, В.М. Исследование процесса смешиваемых кормов в барабанных смесителях на комплексах КРС [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.М. Аблаутов. - Саратов, 1977. - 154 с.
- 7 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений [текст]/Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
- 8 Александров, А.И. Совершенствование процессы смешивания при производстве высокоусвояемых комбикормов с мультиферментными комплексами: автореф. дис. ... канд. техн. наук :05.18.12; 05.18.01 / Александров Алексей Ильич. – Воронеж, 2020 – 274 с.
- 9 Александровский, А.А. Исследование процесса смешивание и разработка аппаратуры для приготовления композиции, содержащих твердую фазу

- [текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Александровский. - М.,1976. - 24 с.
- 10 Алешкин, В.Р. Механизация животноводства: учебное пособие для с.-х. вузов [текст] / В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – М.: Агропромизд, 1985. – 336 с.
 - 11 Аналитическая информация / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [электронный ресурс]. - URL:<http://www.mex.ru> (Дата обращения 24.09.2018г.)
 - 12 Анциферов, С.И. Повышение эффективности процесс смешивания за счет совершенствования конструкции планетарного смесителя: дис. ... докт. техн. наук; 05.02.13: Анциферов Сергей Игорев. - Белгород, 2017. – 47 с.
 - 13 Астапов, С.Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01 / Астапов Сергей Юрьевич. - Мичуринск-Наукаград, 2007. - 179 с.
 - 14 Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учебное пособие для хим. – технол. спец. вузов. – изд. 2–е, перераб. и доп. [текст] / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М: Высш. шк., 1985. - 327 с.
 - 15 Базонов, В.Н. Техничко-экономический анализ современного состояния свиноводства России / В.Н. Базонов, И.В. Базонов // Научно технический прогресс в животноводстве: Перспективная система машин-основа стратегии машинно-технологического обеспечения животноводства на период до2010 г.: Сб. научн. трудов ВНИИМТ.-2009г. - Т.13.(4.3). -С.59-67.
 - 16 Баранцева, Е.А. Исследования процессов непрерывного смешивания сыпучих материалов и разработка методы их расчета на основе теории цепей Маркова: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Баранцева Елена Александровна. - Иваново, 2003. – 108 с.

- 17 Бондарь, А.Г. Планирование эксперимента в химической технологии [текст] / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – Киев: Высшая школа, 1976. – 181 с.
- 18 Боровиков, В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере (для профессионалов) / В. П. Боровиков - СПб.: Питер, 2001. - 656 с.
- 19 Борщев, В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. – М.: «Издательство Машиностроение -1», 2006. - 208 с.
- 20 Василенко, В.Н. Энерго- и ресурсосберегающие технологии переработки масличных культур: учебное пособие / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, И.В. Драган. - Воронеж, 2015. – 172 с.
- 21 Васильева, Л.Г. Методы анализа качества смеси [текст]/ Л.Г. Васильева, В.К. Мартынов // Вестник Саратовского государственного аграрного университета. - Саратов, 2001. - №27 - С. - 9.
- 22 Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1965. – 136 с.
- 23 Ведищев С.М. Исследование рациональных конструктивно-режимных параметров шнеколопастного смесителя [текст] / С.М Ведищев, Н.В. Хольшев // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. - Саратов: «КУБиК», 2011. - С.25-26.
- 24 Ведищев, С.М. Анализ малогабаритных комбикормовых агрегатов / С.М. Ведищев, А.А. Кажияхметова, Н.В. Хольшев // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья [Электронный ресурс] : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием / Под общ. ред. Ю. В. Родионова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. - С. 135-151.
- 25 Ведищев, С.М. Анализ шнековых дозаторов / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, О.В. Ларионова, А.А. Кажияхметова // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в

- АПК : материалы междунар. науч.-практ. конф. «Белагро-2019» (Минск, 6–7 июня 2019 г.) / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. - С.333-337.
- 26 Ведищев, С.М. Аналитическое исследование оптимальной частоты вращения комбинированных рабочих органов смесителя / С.М. Ведищев, Н.В. Хольшев, А.В. Прохоров, А.А. Кажияхметова, М.К. Бралиев // Наука в центральной России. - 2019. - №2(38). - С.65-71.
- 27 Ведищев, С.М. Исследование коэффициента лобового сопротивления лопадки / С.М. Ведищев, Н.В. Хольшев, А.В. Прохоров, А.А. Кажияхметова, М.К. Бралиев // Наука в центральной России. - 2019. - №3. - С.30-36.
- 28 Ведищев, С.М. Исследование физико-механических свойств кормов / С.М. Ведищев, Н.В. Хольшев, Е.А. Кочергина, А.А. Кажияхметова, М.А. Мамедова // Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса: Материалы национальной научно-практической конференции 14 декабря 2017 года. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2017. – Часть 2. - С. 54-58.
- 29 Ведищев, С.М. Исследование энергозатрат шнекового дозатора – смесителя / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.И. Завражнов, Н.В. Хольшев, А.А. Кажияхметова // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. - №2. (42). – 2019. – С.96-101.
- 30 Ведищев, С.М. Механизация приготовления кормов. Часть 2 [электронный ресурс] / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Милованов, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСБ, 2015. -127 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64117.html>.
- 31 Ведищев, С.М. Обоснование конструкции смесителя по типу рабочего органа [текст] /С.М. Ведищев, Н.В. Хольшев, А.В. Прохоров, А.В. Брусенков // Инновационно-техническое обеспечение ресурсо-

- сберегающих технологий АПК. Сборник научных трудов международной научно-технической конференций. - Мичуринск: Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2009. - С.165-167.
- 32 Ведищев, С.М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Ведищев Сергей Михайлович. – Тамбов, 2018 – 381 с.
- 33 Ведищев, С.М. Энергозатраты кормораздатчика со шнековыми дозаторами-смесителями при выдаче в индивидуальные кормушки / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.В. Прохоров, А.А. Кажияхметова // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. им. В.И. Вернадского, 29-31 мая 2019 г., г. Тамбов. – Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. - С.151-154.
- 34 Вертикальные лопастные смесители серии «ВЛС» [электронный ресурс] / Компания «Жаско». – Режим доступа: <http://www.jasko.ru/jasko/katalog/pererabotka/smesitel/vls.html>.
- 35 Власов, А.А. Совершенствование рабочего процесса увлажнителя комбикормов с обоснованием его параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01 / А.А. Власов. - Саранск, 1999. – 24 с.
- 36 Влияние длительности смешивания и доли меньшего компонента на показатели работы мешалки лопастного смесителя с дополнительными лопатками / М. В. Фомина, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 40-45. – DOI 10.12737/17452.
- 37 Влияние конструктивных и режимных параметров мешалки смесителя на качество смеси / М. В. Фомина, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков, В. В. Коновалов // Нива Поволжья. – 2018. – № 4(49). – С. 175-180.
- 38 Влияние угла установки барабана смесителя на качество смеси / К. П. Фудин, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Наука в

- центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 12-19. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-12-19.
- 39 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.
- 40 Волков, М.В. Метод расчёта процесса смешивания сыпучих материалов в новом аппарате с открытой рабочей камерой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Волков Максим Витальевич. - Ярославль, 2014. – 16 с.
- 41 Ганин, Е.В. Совершенствование процессов измельчения и смешивания для получения однородных комбикормов требуемого гранулометрического состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Ганин Евгений Владимирович. – Москва, 2005. – 25 с.
- 42 Гатаулин, А.М. Система прикладных статическо-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве [текст] / А.М. Гатаулин. – М.: Издательство МСХА, 1992. – Ч.1. – 192 с.
- 43 Гатаулин, А.М. Система прикладных статическо-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве [текст] / А.М. Гатаулин. – М.: Издательство МСХА, 1992. – Ч.2. – 192 с.
- 44 Герасимов, С.Я. Комбикорм заводского приготовления [текст] / С.Я. Герасимов, Ф.А. Пусеп. – М.: Колос, 1971. – 223 с.
- 45 Горшков, П.С. Методика расчета продольной скорости циркуляции сыпучего материала в спиральном лопастном смесителе [текст] / П.С. Горшков, В.П. Воронов, Н.П. Несмеянов // Вестник БГТУ и В.Г. Шухова. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. - №4. - С.88.
- 46 ГОСТ 13496.3 – 92. Комбикорма, сырье. Методы определения влажности. – Введ. 1993.- 01-01. – М.: Издательство стандартов, 1993.- 44 с.
- 47 ГОСТ 13496.8 -72. Комбикорм. Методы определения крупности размола и содержания перемолотых семян культурных и дикорастущих растений. М.: Издательство стандартов, 1984. – 50 с.

- 48 ГОСТ 24055 – 80 – ГОСТ 24059 – 80. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно–технической оценки. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 39 с.
- 49 ГОСТ 28254 – 2014. Комбикорм, комбикормовое сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. –М.: Стандарт – тип форм, 2014. – 8 с.
- 50 ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. –М.: Издательство стандартов.
- 51 ГОСТ Р 54784 – 2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. – М.: Стандартиформ, 2012. – 28 с.
- 52 Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. - М.: Машиностроение, 1972. - 184 с.
- 53 Дахин, О.Х. Машины и аппараты для перемешивания сыпучих, жидких и вязкообразных сред: учебное пособие [текст] / О.Х. Дахин. – Волгоград: Издательство Волгоградский ГТУ, 2012. – 232 с.
- 54 Демин, О.В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия [текст] / О.В. Демин // Труды ТГТУ; Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2001. – вып.8. – С. 109-114.
- 55 Дергунов, С.А. Модификация сухих строительных смесей [текст] / С.А. Дергунов, В.Н. Рубцова // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Современные технологии сухих смесей в строительстве MixBULD». – М.: АЛИТ, 2004. – С. 30-35.
- 56 Евсеенков, С.В. Основы расчета процесса смешивания компонентов сыпучих кормов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Евсеенков Сергей Владимирович. – Челябинск, 1993.-43 с.
- 57 Журнал «Комбикорма».- Режим доступа: <http://www.kombi-korma.ru>. (Дата обращения: 18.10.2020.г).

- 58 Завалишин, Ф. С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. - М.: Колос, 1982. — 231 с.
- 59 Завражнов, А.И. Исследование влияния конструктивно-режимных параметров смесителя на его показатели / А.И. Завражнов, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.А. Кажияхметова // Наука и образование. - 2021. - 2-2(63). - Том II.- С.65-72.
- 60 Земсков, В.И. Эксплуатация и техническое обслуживание оборудования кормоцехов [текст] / В.И. Земсков. – М.: Россельхозиздат, 1982. - 208 с.
- 61 Земсков, В.И. Проектирование производственных процессов в животноводстве: Учебное пособие / В.И. Земсков. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – 136 с.
- 62 Земсков, В.И. Проектирование ресурсосберегающее технологий и технических систем в животноводстве: Учебное пособие / В.И. Земсков. - СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 384 с.
- 63 Золотарев, С.М. Проектирование мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов / С.М. Золотарев. - 3-с изд., перераб. и доп.-М.: Колос, 1976. – 286 с.
- 64 Иванова, А.П. Научно-технические аспекты повышения эффективности работы вибросмесителей: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Иванова Анастасия Петровна. - Оренбург, 2005.-38 с.
- 65 Иноземцева, Л.В. Совершенствования технологического процесса и обоснования параметров увлажнителя концентрированных кормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Иноземцева Любовь Валерьевна. - Саратов, 2000. – 24 с.
- 66 Кажияхметова, А.А. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода / А.А. Кажияхметова, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.С. Иванов // III-я Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современная наука: теория, методология,

- практика», Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. - Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2021. - С. 301-303.
- 67 Кажияхметова, А.А. Дозатор-смеситель сухих рассыпных кормосмесей / А.А. Кажияхметова, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.Г. Павлов, Г.В. Рыбин // III-я Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современная наука: теория, методология, практика», Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. - Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2021. - С. 307-311.
- 68 Кажияхметова, А.А. Моделирование процесса смешивания в шнековом смесителе с активным каналом обратного хода для получения экологически безопасных смесей / А.А. Кажияхметова, А.И. Завражнов, С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, М.Е. Выгузов // II Международная научно-практическая конференция «Цифровизация агропромышленного комплекса». В 2-х томах. Том II. Сборник научных статей. Тамбов, 21 – 23 октября 2020 г.-Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. - С. 320-324.
- 69 Кажияхметова, А.А. Обоснование конструктивно-технологической схемы дозатора-смесителя сухих рассыпных кормосмесей / А.А. Кажияхметова, Д.Э. Смирнов, С.М. Ведищев // II-я Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современная наука: теория, методология, практика», 28-29 мая 2020 года. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 249-252.
- 70 Калентьев, В.А. Центр тяжести тел. Методические указания по выполнению расчётно-графических работ с вариантами заданий для студентов очной и заочной формы обучения [Электронный ресурс] / В.А. Калентьев, В.М. Калинин, Л.Т. Раевская, Н.И. Чащин. – Екатеринбург: ФАО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2006 – 19 с. – Режим доступа: elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/808/3/Kalentyev_06.pdf – (Дата обращения: 10.05.2021).

- 71 Каримов, С.Ф. Исследование процесса смешивания в двухвальном горизонтальном кормосмесителе при приготовлении смеси влажных кормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 - Механизация сельскохозяйственного производства / С.Ф. Каримов. – Кировобад, 1975. - 30 с.
- 72 Карра, Р. Струйные мельницы [текст] / Р. Карра. М.: Машиностроение, 1967. - 250 с.
- 73 Кирьянов, Д.В. Самоучитель Mathcad 2001 / Д.В. Кирьянов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 544 с.
- 74 Коба, В.Г. Машины и оборудование для комплексной механизации животноводства [текст] / В.Г. Коба. - Саратов, 1969. - 20 с.
- 75 Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства [текст] / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич.- М.: Колос, 1999.-528 с..
- 76 Комаров, Б.А. Исследования непрерывного процесса смешивания кормов с солями микроэлементов/Б.А. Комаров// В сб. Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. Вып. XI. - Ростов-на Дону, 1968. - С.130-143.
- 77 Комбикормовый агрегат / В.В. Утолин, Н.Е. Лузгин, В.И. Гриньков, А.В. Байдов // Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых: Материалы научно-практической конференции с международным участием, Рязань, 02 марта 2018 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 36-40.
- 78 Коновалов, В.В. Повышение эффективности средств механизации приготовленного и выдачи кормосмесей в свиноводстве: автореф. дис. ...

- докт. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Владимир Викторович. - Пенза: 2005. - 38 с.
- 79 Коновалов, В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ: учебное пособие / В.В. Коновалов. - Пенза: ПГСХА, 2003. — 176 с.
- 80 Коновалов, В.В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов (примеры расчетов на ЭВМ) / В.В. Коновалов. - Пенза: РИО ПГСХА, 2002. — 206 с.
- 81 Коновалов, В.В. Снижение энергозатрат на смешивание концентрированных кормов разработкой и применением смесительного агрегата с комбинированными рабочими органами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Виктор Владимирович. – Пенза, 2018. – 20 с.
- 82 Концепции развития технологий, способов механизации и автоматизации процессов при производстве продукции животноводства на период до 2010 г. – Подольск: ВНИИМТ, 2002. - 104 с.
- 83 Котовская, В.О. Затраты мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.А. Кажияхметова, А.С. Ткачев // Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020 г. / ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.241-245.
- 84 Котовская, В.О. Экспериментальные исследования затрат мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.А. Кажияхметова, А.С. Ткачев // Материалы 2-ой Всерос. (национальной) научно-практич. конференции "Современная наука: теория и практика", Тамбов, 28-29 мая 2020. - Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. - С.245-248.
- 85 Кохно, В.А. Оборудование для производства комбикормов [текст]/ В.А. Кохно. - М.: Агропромиздат, 1981. - 319 с.

- 86 Кукта, Г.М. Машины и оборудования для приготовления кормов [текст] / Г.М. Кукта. - М.: Агропромиздат, 1987. - 303 с.
- 87 Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов [текст]: в 2т. / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1987. - 339 с.
- 88 Лабораторный макет смесителя кормов / В. В. Утолин, Н. Е. Лузгин, Н.Э. Алтунин, В.В. Улин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2021. – № 2(13). – С. 76-80.
- 89 Лебедев, А.Е. Аппараты для переработки дисперсных сред. Теория и расчёт. Монография / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, С. Суид. – Ярославль; Изд. Дом ЛГТУ, 2017 – 176 с.
- 90 Ли, Р.И. Основы научных исследований: учебное пособие [текст] / Р.И. Ли. – Липецк: Издательство ЛГТУ, 2013. - 188 с.
- 91 М. 29.055–87. Типовая методика определения качества смешивания кормов. – Введ. 30.09.1987. – Дослідницькое: Ротапринт ВНИИМОЖ, 1987. – 36 с.
- 92 Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов [текст] / Ю.И. Макаров. - М.: «Машиностроение», 1973. - 215 с.
- 93 Макаров, Ю.И. Проблемы смешения сыпучих материалов [текст] // Журнал всесоюзн. хим. общества, им. Д.И. Менделеева. – 1988 – Т.33. - №4. – С. 384-389.
- 94 Макаров, Ю.И. Разработка, исследование и расчет машин и аппаратов химических производств [текст] / Ю.И. Макаров, А.Г. Квак. - М.: МИХМ, 1984. - 187 с.
- 95 Мальцев, А.К. Изыскание и исследование способов интенсификации процесса смешивания сыпучих кормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Мальцев А.К. - Ростов-на-Дону, 1970. – 21 с.
- 96 Мальцев, А.К. Классификация основных типов смесительных машин, применяемых в сельскохозяйственном производстве / А.К. Мальцев // В

- сб.: Проектирование рабочих органов машин для животноводческих хозяйств (теория и расчет). - Ростов-на Дону, 1972. - С.12-20.
- 97 Мартынов, В.К. Совершенствование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей в планетарном смесителе периодического действия за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Мартынов Вячеслав Константинович. - Саратов, 2005. - 178 с.
- 98 Марченко, А.Ю. Оптимизация конструктивно-режимных параметров цилиндрических винтовых барабанов для приготовления комбикормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Марченко Алексей Юрьевич. – Краснодар, 2012. – 22 с.
- 99 Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. - Л.: Колос, 1972. - 202 с.
- 100 Механизация приготовления кормов [Электронный ресурс]: учебное пособие для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Агроинженерия», а также аспирантов и работников сельскохозяйственной предприятий: в 2 ч./ С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков, А.В. Милованов / Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 140 с. – электрон. опт. диск (CD-ROM). – 51,5 МБ.
- 101 Мишин, К.М. Совершенствование рабочего процесса смесителя концентрированных кормов и жира с обоснованием конструктивно-режимных параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01 / Мишин Константин Михайлович. - Пенза, 2001. – 24 с.
- 102 Мишуров, Н.П. Технологии и оборудование для производства комбикормов в хозяйствах: Справочник / Н.П. Мишуров. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. - 204 с.
- 103 Моделирование влияния конструктивных и технологических параметров на длительность смешения компонентов лопастным смесителем / В. В.

- Коновалов, М. В. Фомина, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Наука в центральной России. – 2018. – № 5(35). – С. 18-25.
- 104 Моделирование работы барабанных устройств на основе силового анализа / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, Ю. В. Родионов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: Тамбов, 14–16 ноября 2018 года. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2018. – С. 178-185.
- 105 Молочная отрасль - 2015: [справочник] / Сост.: А.С. Белов, А.А. Воронин, М.Э. Жебит [и др.].- М.: Национальный Союз производителей молока, 2016. - 376 с.
- 106 Мусаелянц, Г.Г. Совершенствование, разработки и научно-техническое обоснование средств механизации для брикетирования смешивания кормов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Мусаелянц Геннадий Гургенович. – Ереван, 1993. – 55 с.
- 107 Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2017 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия 2013-2017 годы». - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. - 344 с.
- 108 Новиков, И.П. Повышение эффективности переработки органических отходов в удобрения путем совершенствования процесса смешивания: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Новиков Илья Петрович. – Санкт Петербург- Пушкин, 2013. - 20 с.
- 109 Новобранцев, Ф.К. Комплексная механизация ферм КРС [текст] / Ф.К. Новобранцев. - Ростов - н/Д., 1968. - 156 с.
- 110 НТП-АПК 1.10.16.002-03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов. - Введ. 01.01.2004. - М.: Издательство стандартов, 2004. - 82 с.

- 111 Общетехнический справочник / В.П. Законников, А.Б. Пакние, Е.А. Скороходов, и др.; Под общ. ред. Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1990 – 496 с.
- 112 Определение мощности на привод барабанного смесителя / В. П. Терюшков, Н. В. Димитриев, В. В. Коновалов, К. П. Фудин // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 23-31.
- 113 ОСТ 70.32.2-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1984. - 94 с.
- 114 Официальный сайт ВНИИПТИМЭСХ [электронный ресурс] /-Режим доступа: vniiptimz.ly.ru/
- 115 Официальный сайт производственного объединения «Агромаш [электронный ресурс]. - Режим доступа: www.agro-mash.ru/
- 116 Патент на изобретение №2548549 РФ МПК В01F 7/12 (2006.01) РФ. Устройство для перемешивания [текст] / Гатина Р.И., Юсупов И.В., Тихонова Е.А., Енейкина Т.А., Хацринов А.И., Башаров М.К., Михайлов Ю.М. - 20130155067/02; заяв.11.12.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 117. - 5 с.
- 117 Патент на изобретение №2631008 РФ МПК G01F11/00; В01F 7/02; А23N 17/00 (2006.01). Шнековый дозатор-смеситель кормов [текст] / Краснов И.Н., Глобин А.Н., Оганесян С.К.-№2016 120516: заявл.26.052016: опубл.15.09.2017, Бюл. №26. - 7 с.
- 118 Патент на изобретение №2633893 РФ МПК В01F. Устройство для смешивания сыпучих кормов и сухих добавок / В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов, А.В. Чупшев. - № 20160147278; заявл.01.12.2016; опубл.19.10.2017. Бюл. №29. – 8 с.

- 119 Патент на изобретение № 2705334 РФ: МПК7 А01К 5/00 (2006.01) В01F 7/08 (2006.01). Смеситель для сыпучих кормов [Текст] / Ведищев С.М., Завражнов А.И., Кажияхметова А.А., Прохоров А.В., Прохоров С.В., Хольшев Н.В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО "ТГТУ"). – № 2019106970 ; заявл. 13.03.2019; опубл.: 06.11.2019, Бюл. № 31 - 6 с.
- 120 Патент на полезную модель №6448 РК. Шнековый смеситель с каналом обратного хода [Электронный ресурс] / Биниязов А.М., Кажияхметова А.А., Захаров В.П., Ведищев С.М., Биниязов Е.М.; заявитель и патентообладатель Частное высшее профессиональное образовательное учреждение «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет» (KZ). - № 2021/0182.2; заявл. 23.02.2021; опубл. 24.09.2021.
- 121 Пахомов, В.М. Организационно-технологические основы создания блочно-модульных внутрихозяйственных комбикормовых предприятия / В.И. Пахомов. - Зерноград: ВНИИТ ПТИМЭСХ, 2001. - 259 с.
- 122 Пашевкин, О.Б. Обоснование параметров и режимов работы смесителя кормов для кормоцехов животноводческих ферм промышленного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01 / Пашевкин О.Б. - Алма-Ата, 1975. – 20 с.
- 123 Петряев, А. Л. Анализ конструкций смесителей кормов / А. Л. Петряев, А. В. Чупшев // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 24–25 октября 2019 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 227-231.
- 124 Петряев, А. Л. Результаты изменения качества смеси при разных конструктивных параметрах мешалки смесителя / А. Л. Петряев, А. В. Чупшев // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической

- конференции молодых ученых, Пенза, 29–30 октября 2020 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – С. 173-176.
- 125 Полункин, А.А. Усовершенствованная технология и смеситель для приготовления сырых кормов из отжатой мезги и сгущенного кукурузного экстракта: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Полункин Андрей Алексеевич. - Мичуринск-Наукоград РФ, 2014. - 20 с.
- 126 Правила организации и внедрения технологических процессов производства продукции комбикормовой промышленности. - Воронеж: ВНИИКП, 1997. - 256 с.
- 127 Приготовление кормов в фермерских хозяйствах (практическое руководство) – Нижний Новгород: ГБУ Нижнегородской области, инновационно-консультационный центр агропромышленного комплекса: - 48 с. - Режим доступа: docs.yandex.ru/docs/view_tm-163446_1370&tid=ru&Land... (Дата обращения 17.10.2012).
- 128 Прогнозно-аналитическое сопровождение инновационного развитие в сфере сельского хозяйства: сб. / Под. общ. ред. В.Ф. Федоренко. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 504 с.
- 129 Протокол испытаний № 06-20-2013 (2010043) смесителя сыпучих кормов КУ-100 от 23 октября 2013 года. - ФГБУ «Кировская МИС», 2003. - 3 с.
- 130 Прохоров, А.В. Совершенствование бункерного кормораздатчика для свиней с регулируемой захватывающей способностью шнековых дозаторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Прохоров Алексей Владимирович.- Тамбов, 2007.-132 с.
- 131 Разработка РТМ для выбора дозированного смесительного и размольного дробильного оборудования в зависимости от физико-механических свойств сыпучих материалов [текст]: отчет о НИР за 1974г.: 62-72 / Северодонецкий филиал НИИХИММАШо, 1974. - 75 с.
- 132 РД 10.19.2-90 Руководящий документ. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Методы испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1990. - 20 с.

- 133 РД 26.01.90-85 Руководящий документ. Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. - М.: ОАО Леннихиммаш, 1985. - 86 с.
- 134 Ревякин, Е.Л. Опыт освоения современных технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбинированных предприятия [текст] / Е.Л. Ревякин, В.И. Пахомов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.
- 135 Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. - М.: Наука, 1971. – 192 с.
- 136 Сабиев, У.К. Интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Сабиев Уахит Калыжанович. - Барнаул, 2012. – 43 с.
- 137 Савиных, П.А. Комбикормовой цех для сельскохозяйственного предприятия / П.А. Савиных, Ю.В. Селгучев, В.А. Казаков // Вестник ВНИИМЖ. - 2019. - №1 (33). - С.71-76.
- 138 Сахаров, С.Е. Технология приготовления смесей зерновых компонентов комбикормов с разработкой смесителя непрерывного действия гравитационного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Сахаров Сергей Евгеньевич. - Рязань, 2010. – 20 с.
- 139 Селиванов, Ю.Т. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств [текст] / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин. – М.: «Машиностроение-8», 2004. - 120 с.
- 140 Семенихин, А.М. Универсальный кормоцех [текст]/ А.М. Семенихин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1989. - №107. - С.12-15.
- 141 Смеситель сыпучих кормов СМ-1 [электронный ресурс] / Производственный кооператив «Мастера». – Режим доступа: [«http://www.pkmastera.ru/production/sm1](http://www.pkmastera.ru/production/sm1).
- 142 Смеситель сыпучих продуктов Спектр ВПСМ [электронный ресурс]/Производственная компания «Бизнес спектр».-Режим доступа: [«http://bspektr.ru/smesiteli/smesitevpsm2/](http://bspektr.ru/smesiteli/smesitevpsm2/).

- 143 Смешение [электронный ресурс]/сайт ООО «Витафон». – Режим доступа: spbplast.ru.infol.html.
- 144 Спиральный питатель-дозатор сыпучих материалов / В.В. Утолин, М. Паршина, С. Крыгин [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2019. – № 1(1). – С. 120-124.
- 145 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов. Учебное пособие / А.А. Спиридонов. – Свердловск: Издательство УПИ им. С.М. Кирова, 1975. – 140 с.
- 146 Сурашов Н.Т. Расчёт винтовых конвейеров. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Подъемно–транспортные машины» для студентов специальности 5В071300 «Транспорт, транспортная техника и технологии» / Н. Т. Сурашов, М. И. Гудович, Л. Д. Мукиева. - Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2014. –32 с.
- 147 Суханова, М.В. Использование эластичных смесителей в процессе приготовления многокомпонентных кормовых смесей / М.В. Суханова, К.А. Останин // Сельскохозяйственные машины и технологии – научно-производственный и информационный журнал ГНУ ВИМ Россельхозакадемии. – 2013. - №2. - С.46-48.
- 148 Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов. Справочник / В.И. Сыроватка. - М.: Агропромиздат, 1985. - 307 с.
- 149 Сыроватка, В.И. Новое в механизации приготовления кормов [текст] / В.И. Сыроватка, Е.М. Клычев, С.Г.Карташов. - М.: Машиностроение, 1980. - 134 с.
- 150 Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве: Учебник / А. И. Завражнов, Л. В. Бобрович, С. М. Ведищев [и др.]. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар : Издательство "Лань", 2021. – 686 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-8114-7398-4.
- 151 Техническое обеспечение животноводства : учебник для вузов / А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев [и др.] ; Под редакцией

- академика РАН А. И. Завражнова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 516 с. — ISBN 978-5-8114-9894-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/201596> (дата обращения: 07.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 152 Техническое обеспечение животноводства : учебное пособие для СПО / А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев [и др.]. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 516 с. — ISBN 978-5-8114-7931-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169445> (дата обращения: 07.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 153 Технологии для комбикормовой промышленности. Каталог Buler. Schweiz.-2006 – 15 с.
- 154 Технологии и оборудование для производства премиксов. Каталог Van Aarsen Holland. – 2005. – 10 с.
- 155 Технологическая линия и смеситель концентрированных кормов / В. А. Паршина, В. В. Валиков, В. В. Басманов, В. М. Ульянов // Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых : Материалы научно-практической конференции с международным участием, Рязань, 02 марта 2018 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 15-19.
- 156 Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демской, В.Ф. Веденеев, А.Е. Яблоков. - М.: Делипринт, 2010. - 696 с.
- 157 Технологическое оборудование и поточные линии предприятий при переработке зерна учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденеев,

- А.Е. Яблоков, I и III части под. ред. Л.А. Глебова, II часть под. ред. А.Б. Демского. - М.: Дели Принт, 2010. - 696 с.
- 158 Торнер, Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (Механика процессов) [текст] / Р.В. Торнер. – М.: Издательство «Химия», 1972. – 382 с.
- 159 Уланов, И.А. Эффективность использования кормов [текст]/ И.А. Уланов, И.И. Фурса. - М.: Агропромиздат, 1980. - 125 с.
- 160 Ульянов, В. М. Исследование смесителя со спиральным рабочим органом / В. М. Ульянов, В. В. Утолин, М. В. Паршина // Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 12–13 ноября 2019 года / ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Совет молодых ученых. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 218-223.
- 161 Ульянов, В. М. Производительность двухспирального смесителя концентрированных кормов / В. М. Ульянов, М. В. Паршина, В. А. Батирова // Вестник аграрной науки Дона. – 2021. – № 3(55). – С. 46-55.
- 162 Ульянов, В. М. Смеситель кормов / В. М. Ульянов, В. В. Утолин, М. В. Паршина // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 348-352.
- 163 Ульянов, В.М. Шнеково-лопастной смеситель для приготовления кормов / В.М. Ульянов, В.В. Утолин, А.А. Полункин, Е.Е. Гринчков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2013. - №67 - С. 11-12.
- 164 Утюжев, А.З. Научное обоснование и эффективность использования бетонитосодержащей добавки в животноводстве: автореф. дис. ... докт.

- сельскохозяйственных наук: 06.02.08 / Утюжев Арсен Зралнукович. – Ставрополь, 2011. - 44 с.
- 165 Федеральная служба государственной статистики [электронный ресурс].- URL: [http:// www.gks.ru/](http://www.gks.ru/) (Дата обращения 21.09.2018г.).
- 166 Федоренко, В.Ф. Повышение ресурсоэнергоэффективности агропромышленного комплекса: науч. изд. [текст] / В.Ф. Федоренко. - М.; ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. - 284с.
- 167 Федоров, В.В. Теория оптимального эксперимента (планирование дегрисионных экспериментов): Монография [текст] / В.В. Федров. – М.: Наука, 1971. – 312 с.
- 168 Финкальштейн, А.Ш. Приготовление и использование полнорационных кормов в промышленном животноводстве [текст] / А.Ш. Финкальштейн. – М.: Мех ВНИИНИИСХ, 1978. - 65 с.
- 169 Фирсов, М.Н. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники. Учебно-методическое пособие / М.Н. Фирсов. - М.: МСХА, 1999. – 128 с.
- 170 Фролов, Н. Дозатор – смеситель кормов [текст] / Н. Фролов, Г. Мальцев // Сельский механизатор. - 2007. - №5. – С. 5.
- 171 Фудин, К. П. К определению мощности привода барабанного смесителя / К. П. Фудин, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – Т. 5. – № 4. – С. 48-55.
- 172 Фурса, И.И. Исследование процесса смешивания кормов для крупного рогатого скота: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.И. Фурса. - Киев, 1979. – 22 с.
- 173 Фурса, И.И. Кормление молочного скота в условиях промышленной технологии [текст] / И.И. Фурса. – М.: СО ВАСХНИИЛ, 1977. - 56 с.
- 174 Хоецян, С.Х. Коэффициенты трения некоторых кормов по стали, дереву и прорезиненой ленте [текст] / С.Х. Хоецян. – Ереван, 1966. - С.77-94.

- 175 Хольшев, Н.В. Изучение смесителей кормов. Лабораторные работы студентов, обучающихся по направлению 11080 «Агроинженерия» [электронный ресурс] / Н.В. Хольшев, С.М. Ведищев, А.В. Прохоров. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. - 32 с.
- 176 Хольшев, Н.В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнеколопастным смесителем : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01; Хольшев Николай Васильевич. - Тамбов, 2015. - 209 с.
- 177 Черкасов, Р.И. Интенсификация процесса смешивания сыпучих кормов порционном вертикальным шнековым смесителем: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01-Черкасов Роман Иванович. - Ростов-на Дону, 2017. - 149с.
- 178 Чупшев, А.В. Повышение качества смешивания сухих микродобавок с обоснованием конструктивных и технологических параметров смешивания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Чупшев Алексей Владимирович. - Пенза, 2009. – 19 с.
- 179 Шаршунов, В.А. Машины и оборудование для производства комбикормов: Справочное пособие [текст] / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.А. Бортник, Ю.А. Пономоренко. - М.: Экоперспектива, 2005. - 487 с.
- 180 Шпагин, Н.Г. Исследование процесса приготовления кормовых смесей КРС в барабанных смесителях непрерывного действия [текст]: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01 / Н.Г. Шпагин. – Саратов, 1981. - 179 с.
- 181 Шубин, И.Н. Разработка конструкций и методики расчёта гравитационных смесителей для сыпучих материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Шубин Игорь Николаевич. - Тамбов, 2002. – 20 с.
- 182 Юдаев, И. В. Моделирование процессов в шнековом дозаторе / И. В. Юдаев, А. Н. Глобин, Н. В. Плотникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 4(52). – С. 353-360. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-50.

- 183 Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: монография [текст] / М.И. Юдин – Краснодар: КГАУ, 2004. – 239 с.
- 184 Яцунов, А. Качество смеси обеспечивается вибрацией [текст] / А. Яцунов // Сельский механизатор. - 2008. - №77. - С.35-36.
- 185 Chudzikiewicz, R. Powder Technol / R. Chudzikiewicz. – 1987. – vol.31.- №3. - P.233-237.
- 186 Гришков, Е.Е. Шнеково-лопастной смеситель для приготовления кормов [текст] / Е.Е. Гришков, В.М. Ульянов, В.В. Утолин, А.А. Полункин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2013. - № 6. – С.11-12.
- 187 Технологическое и техническое переоснащение молочных ферм / Л.П. Кормановский, Ю.А. Цой, А.И. Зеленцов [и др.]: Под науч. редакцией Л.П. Кормановского; Ю.А. Цой. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014.-268с.

Приложение А1 - Патент на изобретение № 2705334 РФ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 705 334⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
A01K 5/00 (2006.01)
B01F 7/08 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01K 5/00 (2019.08); *B01F 7/08* (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019106970, 13.03.2019
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 13.03.2019
 Дата регистрации:
 06.11.2019
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 13.03.2019
 (45) Опубликовано: 06.11.2019 Бюл. № 31
 Адрес для переписки:
 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ,
 отдел патентования, Неверовой О.С.

(72) Автор(ы):
 Ведищев Сергей Михайлович (RU),
 Прохоров Алексей Владимирович (RU),
 Завражнов Анатолий Иванович (RU),
 Хольшев Николай Васильевич (RU),
 Кажияхметова Аинур Ароновна (KZ),
 Прохоров Станислав Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Тамбовский государственный
 технический университет" (ФГБОУ ВО
 "ТГТУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2171029 C2, 27.07.2001. SU 179110
 A1, 03.02.1966. SU 1012849 A1, 23.04.1983. RU
 2374837 C1, 10.12.2009. US 6000649 A1,
 14.12.1999. EP 1052014 A2, 15.11.2000.

(54) Смеситель для сыпучих кормов

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для смешивания кормов на животноводческих фермах. Смеситель включает корпус и механизм изменения угла наклона корпуса, загрузочный бункер, бункер добавок и выгрузной патрубок, перекрываемый заслонкой, шнековый рабочий орган для смешивания кормов, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода, расположенным внутри шнекового рабочего органа. Внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с плоскими лопатками, расположенными вдоль вала в зоне диффузионного смешивания. Напротив лопаток

в канале обратного хода имеются выгрузные отверстия в виде щелей, шириной, превышающей размер характерных частиц. В конце шнекового рабочего органа закреплены тангенциально изогнутые лопасти с наклоном навстречу движению корма. Максимальный угол наклона корпуса к горизонту не превышает углы внутреннего и внешнего трения корма. Техническим результатом изобретения является получение необходимого качества кормосмеси за меньшее время при пониженных энергозатратах за счет интенсификации движения компонентов корма. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 705 334 C 1

RU 2 705 334 C 1

Продолжение приложения А1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 705 334**⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
A01K 5/00 (2006.01)
B01F 7/08 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
A01K 5/00 (2019.08); *B01F 7/08* (2019.08)(21)(22) Application: **2019106970**, 13.03.2019(24) Effective date for property rights:
13.03.2019Registration date:
06.11.2019Priority:
(22) Date of filing: **13.03.2019**(45) Date of publication: **06.11.2019** Bull. № 31Mail address:
**392000, g. Tambov, ul. Sovetskaya, 106, TGTU,
otdel patentovaniya, Neverovoj O.S.**

(72) Inventor(s):

**Vedishchev Sergej Mikhajlovich (RU),
Prokhorov Aleksej Vladimirovich (RU),
Zavrazhnov Anatolij Ivanovich (RU),
Kholshev Nikolaj Vasilevich (RU),
Kazhiyakhmetova Ainur Aronovna (KZ),
Prokhorov Stanislav Valerevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Tambovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet" (FGBOU VO "TGTU")
(RU)**(54) **BULK FEED MIXER**

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: invention relates to agriculture, in particular, to devices for mixing fodders on cattle-breeding farms. Proposed mixer comprises case and body inclination angle changing mechanism, loading hopper, additive hopper and discharge branch pipe shut off by shutter, screw working member for feed mixing, loading and unloading parts of which are connected by return stroke channel arranged inside screw auger. Inside return stroke channel there is additional screw with flat blades arranged along the shaft in diffusion mixing zone. Outside the vanes in the back stroke

channel there are discharge holes in the form of slots with width exceeding the size of characteristic particles. Tangentially curved blades with inclination towards fodder movement are secured at the end of auger working element. Maximum inclination angle of the body to the horizon does not exceed angles of internal and external friction of the forage.

EFFECT: technical result of the invention is to obtain the required quality of the feed mixture in a shorter period of time at low power consumption due to intensification of feed components movement.

3 cl, 3 dwg

RU 2 7 0 5 3 3 4 C 1

RU 2 7 0 5 3 3 4 C 1

Продолжение приложения А1

RU 2 705 334 C1

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для смешивания сыпучих кормов на животноводческих фермах.

Известен универсальный смеситель кормов (см. а.с. №179110 СССР, МПК А01F), включающий корпус с рабочим органом для смешивания кормов, механизм, позволяющий изменять угол наклона корпуса, загрузочный бункер и выгрузной патрубок, рабочий орган выполнен в виде двух встречно вращающихся шнеков, расположенных в направляющих желобах в корпусе и установленного над шнеками лопастного вала. Недостатком данного смесителя является сложность конструкции, а также наличие застойных зон в нижней части бункера и низкий коэффициент наполнения бункера.

За прототип принят кормораздатчик (см. а.с. №2171029 РФ, МПК А01К 5/02) включающий раздающий шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода, внутри которого установлен дополнительный шнек. Выгрузное отверстие раздающего шнека перекрыто заслонкой. Недостатком является высокие энергозатраты из-за подпрессовки корма в зоне выгрузки и большая металлоемкость.

Технической задачей является снижение энергозатрат при смешивании сыпучих кормов. От использования смесителя может быть получен следующий результат: получение сухой смеси высокого качества по заданному рецепту, низкая энергоемкость приготовления смеси. Указанный эффект достигается за счет применения смесителя сухих сыпучих кормов и добавок.

Устройство поясняется чертежами, где на фиг. 1 - показана схема смесителя; фиг. 2 - то же, разрез А-А; на фиг. 3. - то же, разрез Б-Б.

Смеситель включает корпус 1, загрузочный бункер 2, бункер 3 добавок и выгрузной патрубок 4, перекрываемый заслонкой 5, шнековый рабочий орган 6, загрузочная 7 и выгрузная 8 части которого соединены каналом 9 обратного хода, расположенного внутри шнекового рабочего органа 6. Внутри канала 9 обратного хода установлен дополнительный шнек 10 с валом 11, имеющий диффузионные участки 12 с плоскими лопатками 13 вдоль вала 11. Напротив лопаток 13 в канале 9 обратного хода имеются выгрузные отверстия 14 в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма. В конце шнекового рабочего органа 6 закреплены тангенциально изогнутые лопасти 15 с наклоном навстречу движению корма. Корпус 1 смесителя установлена на оси 16 и может изменять угол α своего наклона к горизонту с помощью винтового механизма 17.

Для выгрузки корма имеется патрубок 4, перекрываемый заслонкой 5. Рабочий 6 и дополнительный 10 шнеки имеют приводы 18 и 19 соответственно.

Технологический процесс работы смесителя осуществляется следующим образом. Смешиваемые компоненты из загрузочного бункера 2 поступают в загрузочную часть 7 корпуса 1. Одновременно добавки из бункера 3 подаются в канал 9 и затем дополнительным шнеком 10 в загрузочную часть 7 корпуса 1. Шнековый рабочий орган 6 перемещает смешиваемые компоненты из загрузочной части 7 по наклонному корпусу 1 вверх к выгрузной части 8. При этом под действием шнековой навивки происходит перемешивание компонентов смеси.

В выгрузной части 8 рабочего органа кормовая смесь поднимается тангенциально изогнутыми лопастями 15 и пересыпается в канал 9 обратного хода. Для исключения сегрегации при самопроизвольном пересыпании корма величина угла α наклона корпуса 1 устанавливается меньше угла трения корма. Перемещение компонентов корма внутри канала 9 обратного хода от выгрузной части 8 к загрузочной части 7 происходит под действием дополнительного шнека 10 и вращения канала 9 обратного хода.

Продолжение приложения А1

RU 2 705 334 C1

В зоне диффузионного смешивания 12 под действием вращающихся лопаток 13 корм перемешивается и частично через щелевые отверстия 14 из канала 9 обратного хода пересыпается на шнековый рабочий орган 6, а частично по каналу 9 обратного хода перемещается в загрузочную часть 7 шнекового рабочего органа 6.

5 По окончании перемешивания открывается заслонка 5 и готовая смесь выгружается через патрубок 4.

В результате принятой схемы смесителя снижается время смешивания за счет разделения потоков кормовой смеси в зоне диффузионного смешивания при движении по каналу обратного хода под действием лопаток в дополнительном шнеке и щелевых 10 отверстий в канале обратного хода, а также взаимопроникновению потоков материала при движении кормосмеси под действием шнекового рабочего органа от зоны загрузки к зоне выгрузки.

Наклонное расположение корпуса к горизонту дает возможность устанавливать заданный режим движения материала при смешивании различных компонентов корма.

15 Предложенный смеситель за счет интенсификации движения корма в корпусе смесителя позволяет получить необходимое качество кормосмеси за меньше время при пониженных энергозатратах.

(57) Формула изобретения

20 1. Смеситель сыпучих кормов, включающий шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода, канал обратного хода расположен внутри шнека, внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек, выгрузное отверстие шнека перекрыто заслонкой, отличающийся тем, что в конце шнекового рабочего органа закреплены тангенциально изогнутые лопасти с наклоном 25 навстречу движению корма.

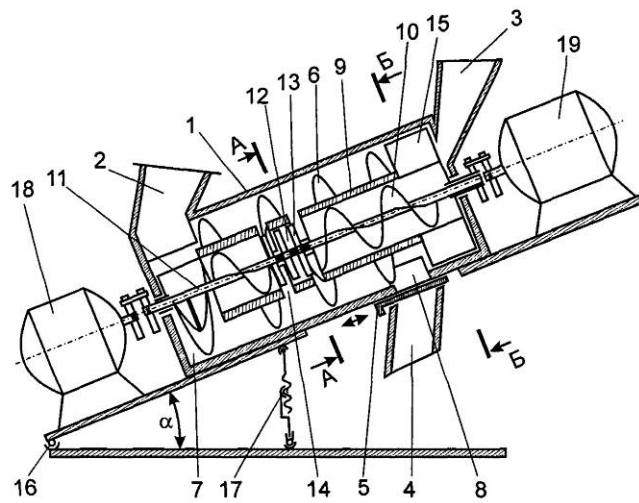
2. Смеситель по п. 1, отличающийся тем, что дополнительный шнек в средней части имеет диффузионные участки с плоскими лопатками, расположенными вдоль вала, напротив лопаток в канале обратного хода выполнены выгрузные отверстия в виде щелей, шириной, превышающей размер характерных частиц.

30 3. Смеситель по п. 1, отличающийся тем, что имеется механизм изменения угла наклона шнека к горизонту, причем угол наклона шнека не превышает углы внутреннего и внешнего трения корма.

35

40

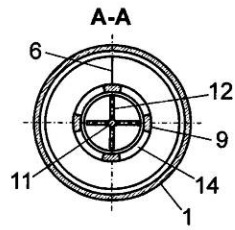
45



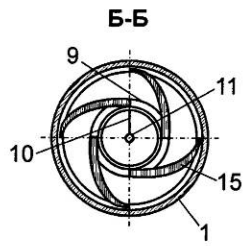
Фиг. 1 Схема смесителя сухих рассыпных кормосмесей

Продолжение приложения А1

RU 2 705 334 C1



Фиг. 2 Разрез А-А



Фиг. 3 Разрез Б-Б

Приложение Б1 - Программа для расчета теоретических значений показателей работы шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

Код программы для расчета теоретических значений показателей работы шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Math;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Button1: TButton;
    Edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit;
    Label10: TLabel;
    Edit10: TEdit;
    Label11: TLabel;
    Edit11: TEdit;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Button2: TButton;
```

Продолжение приложения Б1

Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Edit2: TEdit;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label35: TLabel;
Edit12: TEdit;
Label36: TLabel;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label44: TLabel;
Edit15: TEdit;
Label46: TLabel;
Label6: TLabel;
Edit3: TEdit;
Label32: TLabel;

Продолжение приложения Б1

```

Label33: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
  {$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var p,k3,k4,m,n1,n2,Ft,a1,a2,i,g1,g2,g3,g4,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,AL,
T1,T2,T3,T4,ky2,ky3,ky4,Vccp,c,Vocp,Ка,Tc,fi,P1,P2,P3,P4,Pc,a22,a33,a44,Vp2,Vp3,Vp4,

```

Продолжение приложения Ж

```

Vo2, Vo3, Pn2, Pn3, Pn4, Po2,Po3,Pp2,Pp3,Tz, Pz,M1,P1w,P2w,
Pp4,hcp2,hcp3,hcp4,rcp2,rcp3,rcp4,Zp2,Zp3,Zp4,K1,Kc2,Kc3,Kc4,fv,v,Kd,Ks1,Ks2,nc,tay,Py2,
Py3,Py4,h2,h3,h4,Qo,Ny,O1,O2,O3: real;
const
D1=0.5; d11=0.057; R2=0.25; r22=0.11; R3=0.25; r33=0.11; D4=0.5; d44=0.057;
B2=0.33; B3=0.33; B4=0.18; L1=0.18; L2=0.57; L3=0.57; L4=0.18; F=0.234;
Rc=0.1737; Ac=10.61;Fpt2=0.045;FL4=0.045; z2=3; z3=3; z4=2;Kc=1.2;k2=0.75; k5=0.85;
Begin;
p:=StrTofloat(Edit1.Text);
m:=StrTofloat(Edit6.Text);
n1:=StrTofloat(Edit7.Text);
n2:=StrTofloat(Edit8.Text);
a1:=StrTofloat(Edit9.Text);
a2:=StrTofloat(Edit10.Text);
Ft:=StrTofloat(Edit11.Text);
fv:=StrTofloat(Edit2.Text);
nc:=StrTofloat(Edit12.Text);

```


Продолжение приложения Б1

```

v:=arctan(fv);
a1:=pi*a1/180;
a2:=pi*a2/180;
k4:=StrTofloat(Edit15.Text);
k3:=k2-k4;
tay:=StrTofloat(Edit3.Text);
AL:=pi*Ac/180;
g2:=0;
i:=0.0001;
Repeat
  g2:=g2+i;
Q2:=pi*(R2*R2-r22*r22)*B2*n1*p*k2*(cos(a1))*g2/60;
g3:=Q2/((pi*(R3*R3-r33*r33)*B3*n2*p*k3*(cos(a2))/60)+(pi*(R3*R2-
r33*r33)*B3*n2*p*k4*(sin(a2))/60));
g4:=g3*(pi*(R3*R3-r33*r33)*B3*n2*p*k3*(cos(a2))/60)/(0.25*pi*B4*n2*z4*p*k5*(D4*D4-
d44*d44)/60);
g1:=g4*(0.25*pi*B4*n2*z4*p*k5*(D4*D4-d44*d44)/60)/(0.25*pi*(D1*D1-
d11*d11)*(pi*n1/30)*Rc*p*(sin(AL))*((cos(AL))-Ft*(sin(AL))));
  i:=i+0.001;
Until (g1*L1+g2*L2+g3*L3+g4*L4)*p*F>=0.5*m;
Q1:=g1*0.25*pi*(D1*D1-d11*d11)*(pi*n1/30)*Rc*p*(sin(AL))*((cos(AL))-Ft*(sin(AL)));
Q2:=g2*pi*(R2*R2-r22*r22)*B2*n1*p*k2*(cos(a1))/60;
Q3:=g3*pi*(R3*R3-r33*r33)*B3*n2*p*k3*(cos(a2))/60;
Q4:=g4*pi*(R3*R3-r33*r33)*B3*n2*p*k4*(sin(a2))/60;
Q5:=g4*0.25*pi*B4*n2*z4*p*k5*(D4*D4-d44*d44)/60;
Ka:=Q3/(Q3+Q4);
T1:= m*Ka/Q1;
T2:=m/Q2;
T3:=m/(Q3+Q4);
T4:= m*Ka/Q4;
Tc:=2*(T1+T2+T3+T4);
Tz:=nc*Tc;
fi:=ARCTAN(Ft);

```

Продолжение приложения Б1

If $g2 \leq 0.4494$ then

$$a22 := -6.664 * g2 * g2 * g2 * g2 + 7.649 * g2 * g2 * g2 - 3.192 * g2 * g2 + 1.045 * g2 + 0.007$$

else $a22 := 0.45 * g2 + 0.0528$;

If $g3 \leq 0.4494$ then

$$a33 := -6.664 * g3 * g3 * g3 * g3 + 7.649 * g3 * g3 * g3 - 3.192 * g3 * g3 + 1.045 * g3 + 0.007$$

else $a33 := 0.45 * g3 + 0.0528$;

If $g4 \leq 0.4494$ then

$$a44 := -6.664 * g4 * g4 * g4 * g4 + 7.649 * g4 * g4 * g4 - 3.192 * g4 * g4 + 1.045 * g4 + 0.007$$

else $a44 := 0.45 * g4 + 0.0528$;

$$c := L1 / (2 * \pi);$$

$$V_{ccp} := (L1 * n1 / 60) * (f_v - (2 * c * c * F_t / ((0.25 * D1 * D1) - (0.25 * d11 * d11))) + (2 * c * 0.25 * D1 * d11 / ((0.5 * D1 + 0.5 * d11) * (c * c + 0.25 * D1 * d11))));$$

$$M1 := L1 * p * g1 * F;$$

$$P1w := (3.14 * n1 * R_c / 30) * 9.81 * M1 * \text{TAN}(AL + F_t);$$

$$P2w := V_{ccp} * 9.81 * M1 * (1 + (V_{ccp} / (0.75 * 9.81 * R_c)));$$

$$P1 := (P1w + P2w) * 1.3;$$

If $a22 \leq (R2 - r22)$ then

$$rcp2 := R2 - (a22 / 3)$$

else $rcp2 := R2 - ((R2 - r22) / 3)$;

If $a33 \leq (R3 - r33)$ then

$$rcp3 := R3 - (a33 / 3) \text{ else } rcp3 := R3 - ((R3 - r33) / 3);$$

$$Vp2 := rcp2 * \pi * n1 / 30;$$

$$Vp3 := rcp3 * \pi * n2 / 30;$$

$$Zp2 := (z2 * \text{ARCCOS}((R2 - a22) / R2)) / \pi;$$

$$Zp3 := (z3 * \text{ARCCOS}((R3 - a33) / R3)) / \pi;$$

$$Zp4 := (z4 * \text{ARCCOS}((R2 - a44) / R2)) / \pi;$$

$$O1 := (66300 * g2 * g2 + 6914.8 * g2 - 3571) / (9.81 * p * (\text{TAN}(0.785 + 0.5 * \text{ARCTAN}(F_v))) * (\text{TAN}(0.785 + 0.5 * \text{ARCTAN}(F_v))));$$

$$Kc2 := (2 * t_{ay}) / (p * Vp2 * Vp2 * \cos(a1));$$

$$Pn2 := Kc2 * 0.25 * p * B2 * (\pi * n1 / 30) * (\pi * n1 / 30) * (\pi * n1 / 30) * (R2 * R2 * R2 * R2 - r22 * r22 * r22 * r22);$$

$$Pp2 := L2 * Q2 * Kc * 9.81;$$

Продолжение приложения Б1

```

If g2<=0.2 then h2:=1.29
else h2:=logN(a22,O1);
If h2>0 then
ky2:=9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+
+0.5*ARCTAN(Fv)))*exp(h2*ln(a22))
else ky2:=9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+
+0.5*ARCTAN(Fv)))/exp(h2*ln(a22));
Py2:=Zp2*Vp2*ky2*Fpt2*cos(a1);
P2:=1.27*(Pn2+Pp2+Py2);
Kc3:=(2*tay)/(p*Vp3*Vp3*cos(a2));
Pn3:=Kc3*0.25*p*B3*(pi*n2/30)*(pi*n2/30)*(pi*n2/30)*(R3*R3*R3*R3-
-r33*r33*r33*r33);
Pp3:=L3*(Q3+Q4)*Kc*9.81;
O2:=(50902*g3*g3+8901*g3-
3769.2)/(9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+
+0.5*ARCTAN(Fv))));
If g3<=0.2 then h3:=1.29
else h3:=logN(a33,O2);
If h3>0 then
ky3:=9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+
+0.5*ARCTAN(Fv)))*exp(h3*ln(a33))
else ky3:=9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+
+0.5*ARCTAN(Fv)))/exp(h3*ln(a33));
Py3:=Zp3*Vp3*ky3*Fpt2*cos(a2);
P3:=1.27*(Pn3+Pp3+Py3);
If g4<=0.5 then Zp4:=1
else Zp4:=(z4*ARCCOS((R2-a44)/R2))/pi;
If a44<=0.5*D4 then rcp4:=0.5*D4-(a44/3)
else rcp4:=0.5*D4/3;
O3:=(80645*g4-17835)/
/(9.81*p*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(TAN(0.785+0.5*ARCTAN(Fv))));
Vp4:=((0.5*D4-a44/3)*pi*n2)/30;
Kc4:=(2*tay)/(p*Vp4*Vp4);

```

Продолжение приложения Б1

$$Pn4:=Kc4*0.25*p*B4*(\pi*n2/30)*(\pi*n2/30)*(\pi*n2/30)*(0.0625*D4*D4*D4* \\ *D4-0.0625*(0.5*D4-a44/3)*(0.5*D4-a44/3)*(0.5*D4-a44/3)*(0.5*D4-a44/3));$$

$$Pp4:=L4*Q4*Kc*9.81;$$

If $g4 \leq 0.2$ then $h4:=1.3$

else $h4:=\log N(a44, O3);$

If $h4 > 0$ then $ky4:=9.81*p*(\tan(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(\tan(0.785+ \\ +0.5*ARCTAN(Fv)))*\exp(h4*\ln(a44))$

else $ky4:=9.81*p*(\tan(0.785+0.5*ARCTAN(Fv)))*(\tan(0.785+ \\ +0.5*ARCTAN(Fv)))/\exp(h4*\ln(a44));$

$$Py4:=Zp4*Vp4*ky4*FL4;$$

$$P4:=1.27*(Pn4+Pp4+Py4);$$

$$Pc:=P1+P2+P3+P4;$$

$$Pz:=2*Pc;$$

$$Qo:=3.6*m/Tz;$$

$$Ny:=0.001*Pz/Qo;$$

Label13.Caption:='шнековом '+FloatToStrF(g1,ffFixed,6,4);

Label14.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток первом '+FloatToStrF(g2,ffFixed,6,4);

Label15.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток втором '+FloatToStrF(g3,ffFixed,6,4);

Label16.Caption:='перебрасывающих лопастей '+FloatToStrF(g4,ffFixed,6,4);

Label18.Caption:='шнековом, осевая '+FloatToStrF(Q1,ffFixed,5,2)+' кг/с';

Label17.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток первом, осевая '+FloatToStrF(Q2,ffFixed,5,2)+' кг/с';

Label19.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, осевая '+FloatToStrF(Q3,ffFixed,5,2)+' кг/с';

Label20.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток втором, поперечная '+FloatToStrF(Q4,ffFixed,5,2)+' кг/с';

Label21.Caption:='перебрасывающих лопастей '+FloatToStrF(Q5,ffFixed,5,2)+' кг/с';

Label22.Caption:='шнековом '+FloatToStrF(T1,ffFixed,5,2)+' с';

Label23.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток первом '+FloatToStrF(T2,ffFixed,5,2)+' с';

Продолжение приложения Б1

```
Label24.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток втором  
'+FloatToStrF(T3,ffFixed,5,2)+' с';  
Label25.Caption:='перебрасывающих лопастей '+FloatToStrF(T4,ffFixed,5,2)+' с';  
Label39.Caption:='Время цикла '+FloatToStrF(Tc,ffFixed,5,2)+' с';  
Label26.Caption:='Время смешивания '+FloatToStrF(Tz,ffFixed,5,2)+' с';  
Label27.Caption:='шнековым '+FloatToStrF(P1,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label28.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток первом  
'+FloatToStrF(P2,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label29.Caption:='перемешивающе-транспортирующих лопаток втором  
'+FloatToStrF(P3,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label30.Caption:='перебрасывающих лопастей '+FloatToStrF(P4,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label31.Caption:='Мощность на привод одного рабочего органа  
'+FloatToStrF(Pc,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label41.Caption:='Мощность на привод общая '+FloatToStrF(Pz,ffFixed,5,2)+' Вт';  
Label32.Caption:='Производительность '+FloatToStrF(Qo,ffFixed,5,2)+' т/ч';  
Label33.Caption:='Удельная энергоемкость '+FloatToStrF(Ny,ffFixed,5,2)+' кВт ч/т';  
end; procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);  
begin Close;  
end;  
end.
```

Приложение Б2 - Результаты моделирования объемной подачи смесителя

Таблица Б2 - Результаты расчетов объемной цикловой подачи смесителя с активным каналом обратного хода

Параметр		K_{don}									
		0,8			1,0			1,2			
		K_{u1}			K_{u1}			K_{u1}			
		0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	
$K_L = \frac{D_1}{d_1}$		2,14	1,84	1,67	2,34	1,99	1,80	2,52	2,14	1,92	
S_{u1} , м.		0,064	0,096	0,128	0,064	0,096	0,128	0,064	0,096	0,128	
V_K , 10^{-3} м ³	Количество витков шнека на участке L_{12} , шт.	1	3,25	4,59	6,01	3,27	4,59	5,99	3,29	4,59	5,96
		2	4,21	5,55	6,97	4,23	5,55	6,95	4,25	5,55	6,93
		3	5,18	6,52	7,94	5,20	6,52	7,91	5,22	6,52	7,89
		4	6,15	7,49	8,91	6,17	7,49	8,89	6,19	7,49	8,86
		5	7,11	8,45	9,87	7,13	8,45	9,85	7,15	8,45	9,83
t_{yc} , с	Количество витков шнека на участке L_{12} , шт.	1	4,44	4,45	4,47	4,43	4,43	4,45	4,41	4,42	4,43
		2	5,41	5,42	5,45	5,39	5,39	5,42	5,38	5,38	5,40
		3	6,38	6,41	6,43	6,36	6,38	6,39	6,34	6,36	6,37
		4	7,35	7,38	7,43	7,32	7,34	7,38	7,30	7,32	7,36
		5	8,3	8,35	8,41	8,30	8,31	8,36	8,28	8,28	8,27
Q_V , 10^{-3} м ² /с	Количество витков шнека на участке L_{12} , шт.	1	0,73	1,00	1,30	0,74	1,00	1,30	0,75	1,00	1,30
		2	0,78	1,00	1,30	0,78	1,00	1,30	0,79	1,00	1,30
		3	0,81	1,00	1,20	0,82	1,00	1,20	0,82	1,00	1,20
		4	0,84	1,00	1,20	0,84	1,00	1,20	0,85	1,00	1,20
		5	0,85	1,00	1,20	0,86	1,00	1,20	0,86	1,00	1,20

При $n = 1,667c^{-1}$; $D_1 = 0,16м$.

Приложение В1 - Применяемые приборы, инструменты, оборудование
и параметры измерений

Таблица В1 – Применяемые приборы, инструменты, оборудование и
параметры измерений

Измеряемый параметр	Наименование прибора, инструмента, оборудования	Стандарт на прибор, инструмент, оборудование	Точность измерений
1	2	3	4
Линейные размеры	Штангенциркуль «ШЦ II 0-250 ц-0,1»	ГОСТ 166-89	0,1 мм
	Рулетка измерительная металлическая matrix 31013 3м×16мм	ГОСТ 7502-98	1,00 мм
Угловой размер	Транспортир	ТУ 11.15 М0.089.011-78	±1,0°
Время	Секундомер СОСпр-26- 2-000	ГОСТ 5072-75	0,6 с
Частота вращения	Тахометр электронный «DT-6236B»	РОСС СN.АИ18.А48604 №0001656	±0,5%
Масса	Весы ВЛКТ-500g-М	ГОСТ 24104-88	0,01 г
	Весы РН-10Ц 13У	ТУ 25.06.575-77	100г- 10кг±5г
Сила тока	Цифровой мультиметр UNI-T, серия UT33D	ТУ 207525864	1,5% 0,1В
Напряжение	Цифровой мультиметр UNI-T, серия UT33D	ТУ 207525864	1,2% 0,1В
Проверка горизонтали и вертикали расположения поверхностей	Уровень УС-2-11	ГОСТ 9416-83	4,4 мм/Н
Влажность	Шкаф сушильный СНОЛ-3,5	ТУ 16-681.0,32-84	350°С
Объем	Мерный цилиндр 2-2000-1	ГОСТ 1770-74	0,2 см ³
Частота тока	Веспер Е2-8300	Е2-MINI	0,1 Гц
Модуль помола	Ситовой классификатор		0,01 мм

Абсолютную погрешность прибора определяли по формуле:

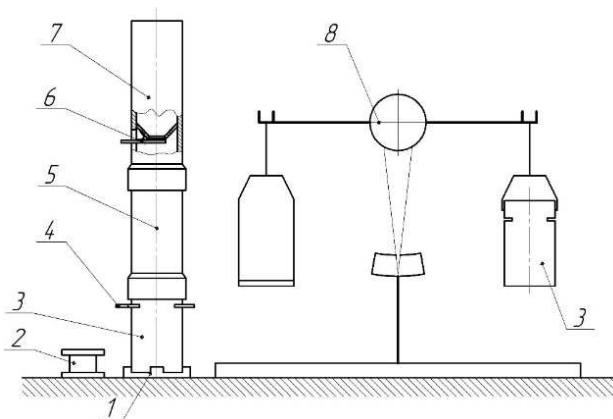
$$\Delta U = \frac{\Delta}{2}, \quad (\text{В.1})$$

где Δ - цена деления прибора.

Приложение Г1 – Методика определения физико-механических свойств
кормов

Определение объемной массы исследуемого материала в соответствии с ГОСТ 28254-2014 [28, 49, 130].

К коромыслу весов 8 (рисунок Г1) справа подвешивали мерку 3 с падающим грузом 2, а слева чашку для грузов и проверяли уравновешены ли они. Затем вынимали падающий груз, устанавливали в мерку нож 4 и закрепляли ее в башмаке, падающий клали на нож. Сверху на мерку 3 надевали наполнитель 5, на который в свою очередь устанавливался цилиндр насыпки 7, в нижней части которого смонтирована воронка 6 с пружинной заслонкой.



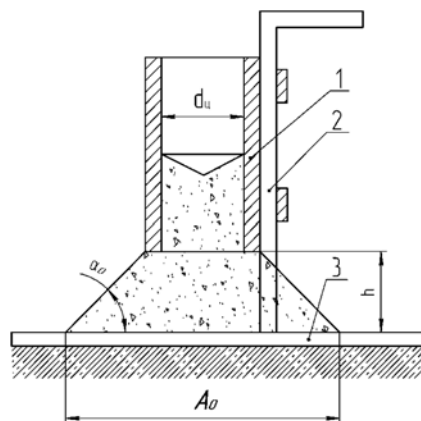
1-башмак; 2-падающий груз; 3-мерка; 4-нож; 5-наполнитель; 6-цилиндр насыпки; 7-воронка с пружинной заслонкой; 8-весы

Рисунок Г1 – Схема устройства для определения объемной массы

Исследуемый материал засыпали в цилиндр насыпки при закрытой воронке, затем замок воронки открывали и продукт пересыпался в наполнитель, после чего выдвигали нож из щели в мерке и падающий груз, а вместе с ним и анализируемый материал, вытесняя воздух через отверстия в дне мерки, падали в мерку. Далее снова вставляли нож отделяя тем самым 1 дм^3 продукта, снимали цилиндр насыпки, наполнитель с меркой переворачивали, удаляя излишки продукта, затем снимали наполнитель и вторично переворачивали мерку для удаления остатков продукта с ножа, после чего вынимали нож, а мерку взвешивали с точностью до $0,1 \text{ г}$ с последующим округлением до целого числа и получили значение объемной массы в килограммах на кубический метр. За окончательный результат приняли среднеарифметическое значение из двух опытов.

Определение угла естественного откоса [28, 49, 86, 130, 175, 176]

Определение угла естественного откоса α_0 производилось при помощи устройства показанного на рисунке Г2. Устанавливали цилиндр 1 на плоскость 3, наполняли его сыпучим материалом доверху, а затем медленно поднимали на высоту h . Находящийся в цилиндре материал вытекал и рассыпался под углом естественного откоса α_0 . Замеряли длину основания A_0 рассыпавшегося материала на пластине 3 и внутренний диаметр цилиндра $d_{ц}$.



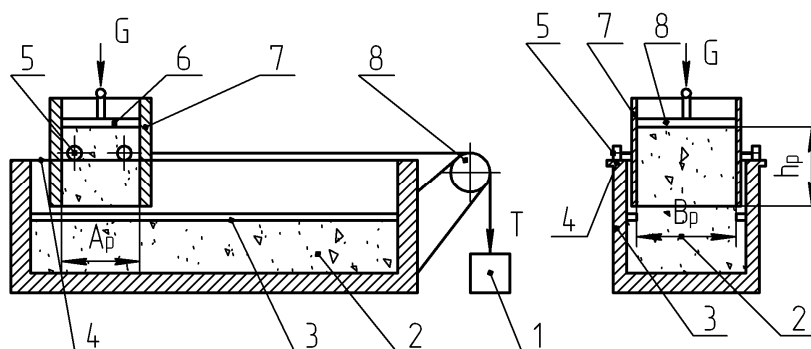
1-цилиндр; 2-стойка крепления цилиндра; 3-подставка
Рисунок Г2 – Схема к определению угла естественного откоса

Определение коэффициентов внутреннего и внешнего трения [28, 49, 86, 130, 174, 175, 176]

Схема определения коэффициентов внутреннего и внешнего трения представлена на рисунке Г3.

Трибомер состоит из желоба 2 и рамки 7. Рамка 7 опирается катками 5 на верхние направляющие 4 и соединена с грузовой чашкой 1 шнуром, перекинутым через блок 8. Исследуемый материал в рамке 7 прижимается к материалу желоба пластинами 6. При определении коэффициента внешнего трения насыпного корма о твердую поверхность на нижние направляющие 3 устанавливается пластина из твердого материала.

Определение касательного напряжения среза. Предварительно определяли усилие необходимое для перемещения пустой подвижной рамки. Затем рамку 7 и желоб 2 трибомера (рисунок 3.3) заполняли исследуемым материалом. Порция материала, лежащего на рамке 7, прижималась к материалу в желобе 2 пластинами 6 с грузом. Нагружали грузовую чашку 1 до тех пор, пока рамка 7 не станет двигаться. Происходил срез материала. Взвешивали грузовую чашку, вес груза и вес прижимной пластины на весах.



1-грузовая чашка; 2-насыпной материал; 3-нижние направляющие; 4-верхние направляющие; 5-катки; 6-пластина; 7-рамка; 8-блок.

Рисунок Г3 – Схема трибомера

Определение коэффициента внешнего также производили при помощи трибомера. Под рамку 7 (рисунок 3.3) на направляющие 3 укладывали полоску окрашенной стали. Наполняли рамку 7 трибомера сыпучим материалом и прижимали его к полоске твердого материала под рамкой 7 пластинами 6 с грузом. Нагружали грузовую чашку 1 до тех пор, пока рамка 7 не станет двигаться. Записывали вес T_2 грузовой чашки 1, при котором происходит сдвиг рамки 7. Эксперимент повторяли не менее 5 раз.

Определение гранулометрического состава сыпучих комбикормов в соответствии с ГОСТ 13496.8-72 [28, 49, 86, 130, 175, 176]

Для проведения испытаний применяли набор штампованных сит с отверстиями диаметром 1, 2, 3, 5 мм и весы электронные ВЛКТ – 500g М.

Верхнее сито с отверстиями диаметром 5 мм является контрольным для учета целых зерен, наличие которых в дерти не допускается. Массу исходной навески принимали равной 100 г. Просеивание производили в течении 3 мин ручным способом при 120 движениях в минуту в размахе колебаний сит около 10 см. По окончании просеивания остаток на каждом из сит взвешивали отдельно на электронных весах с погрешностью не более 0,01 г. За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое значение результатов двух параллельных измерений.

Определение влажности корма в соответствии с ГОСТ 13496.3-92 [28, 46, 86, 130, 175, 176].

На дно тщательно вымытого и просушенного эксикатора помещали осушитель. Пришлифованные края эксикатора смазывали тонким слоем вазелина.

Сушильный шкаф (СНОЛ 3,5) включали в электросеть, установив контактный термометр на температуру 130°C. Бюксы просушивали в сушильном шкафу в течении 60 минут и помещали для полного охлаждения в эксикатор на 15-20 мин. Влажность определяли в двух параллельных навесках.

Из эксикатора извлекли две чистые просушенные металлические бюксы и взвешивали с погрешностью не более 0,01 г на электронных весах.

Продукт, выделенный из средней пробы для определения влажности, тщательно перемешивали, встряхивая емкость, отбирали совком из разных мест и помещали в каждую взвешенную бюксу навеску продукта массой (5,00±0,01) г, после чего бюксы закрывали крышками и ставили в сушильный шкаф. По достижении в камере сушильного шкафа температуры 130°C сушку производили еще в течении 40 минут.

По окончании высушивания бюксы с продуктом вынимали из шкафа тигельными щипцами, закрывали крышками и переносили в эксикатор для полного охлаждения, примерно на 20 мин. Охлажденные бюксы взвешивали на весах ВЛКТ – 500 g М и помещали в эксикатор до окончания обработки результатов.

Приложение Д1 - План экспериментальных исследований

Таблица Д1 План экспериментальных исследований шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

№ опыта	План эксперимента		
	x_1	x_2	x_3
1	1	1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	-1	-1	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	1	0	-1
8	-1	0	1
9	-1	0	-1
10	0	0	0
11	0	1	1
12	0	1	-1
13	0	-1	1
14	0	-1	-1
15	0	0	0

Приложение Е1 - Результаты расчетов коэффициентов регрессии модели второго порядка для неравномерности смешивания

Значения коэффициентов регрессии:

$$b_0 = 10,6083; b_1 = -3,612; b_2 = -2,3685; b_3 = 0,8654; b_{11} = 62,875; \\ b_{11} = 0,9091; b_{22} = 0,4396; b_{13} = 0,4164; b_{23} = 0,363.$$

Таблица Е1 - Результаты сравнения экспериментальных значений с полученными по уравнению регрессии для неравномерности

№ опыта	План эксперимента			У ₁ неравномерность, %
	x ₁	x ₂	x ₃	
1	1	1	0	6,32
2	1	-1	0	11,18
3	-1	1	0	12,57
4	-1	-1	0	17,76
5	0	0	0	10,63
6	1	0	1	8,85
7	1	0	-1	6,75
8	-1	0	1	16,05
9	-1	0	-1	15,62
10	0	0	0	10,46
11	0	1	1	9,86
12	0	1	-1	8,39
13	0	-1	1	15,04
14	0	-1	-1	12,11
15	0	0	0	10,73

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

Продолжение приложения Е1

Значения дисперсий коэффициентов регрессии и воспроизводимости эксперимента:

$$S_{\{b_0\}}^2 = 0,0001; S_{\{b_i\}}^2 = 0,00005; S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,00005; S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,00005; S_y^2 = 0,0004.$$

Расчетное и табличное значение G-критерия Кохрена соответственно составили:

$$G_P = 0,1382;$$

$$G_T = 0,3346;$$

Так как $G_P < G_T$, то дисперсии опытов однородны.

Доверительные интервалы для коэффициентов регрессии равны:

$$b_0 = \pm 0,0497; b_i = \pm 0,0304; b_{ij} = \pm 0,0430; b_{ii} = \pm 0,0448$$

При расчете доверительных интервалов табличное значение критерия Стьюдента было принято равным: $t_T = 4,302$, при числе степеней свободы $f_B = 2$.

Ошибки в определении коэффициентов регрессии составили:

$$S_{\{b_0\}} = 0,0115; S_{\{b_i\}} = 0,0071; S_{\{b_{ij}\}} = 0,0100; S_{\{b_{ii}\}} = 0,0104.$$

Так как коэффициент считается значимым, если его абсолютная величина больше доверительного интервала, то коэффициенты b_{22} незначим.

Дисперсия адекватности полученного уравнения при числе степеней свободы $f_{ад.} = 9$ равна:

$$S_{ад.}^2 = 0,00019.$$

Расчетное и табличное значения F-критерий Фишера составили соответственно:

$$F_P = 0,464;$$

$$F_T = 19,38.$$

Так как $F_P < F_T$, полученная модель адекватна с уровнем значимости 0,05.

Приложение Е2 - Результаты расчетов коэффициентов регрессии модели второго порядка для удельной энергоемкости

Значения коэффициентов регрессии:

$$b_0 = 1706,2; b_1 = 135,85; b_2 = 469,3; b_3 = 197,65; b_{11} = 62,875; \\ b_{22} = 97,975; b_{12} = 156,05; b_{13} = 79,65; b_{23} = 62,875.$$

Таблица Е2 - Результаты сравнения экспериментальных значений с полученными по уравнению регрессии для удельной энергоемкости

№ опыта	План эксперимента			Удельные энергозатраты, Вт с/кг
	x_1	x_2	x_3	
1	1	1	0	2596
2	1	-1	0	1309,8
3	-1	1	0	2112,2
4	-1	-1	0	1050,2
5	0	0	0	1720,2
6	1	0	1	2183
7	1	0	-1	1616,6
8	-1	0	1	1652
9	-1	0	-1	1404,2
10	0	0	0	1722,8
11	0	1	1	2454,4
12	0	1	-1	1947
13	0	-1	1	1227,2
14	0	-1	-1	967,6
15	0	0	0	1675,6

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

Продолжение приложения Е2

Значения дисперсий коэффициентов регрессии и воспроизводимости эксперимента:

$$S_{\{b_0\}}^2 = 0,0001; S_{\{b_i\}}^2 = 0,00005; S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,00005; S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,00005; S_y^2 = 0,0004 .$$

Расчетное и табличное значение G-критерия Кохрена соответственно составили:

$$G_P = 0,1382;$$

$$G_T = 0,3346;$$

Так как $G_P < G_T$, то дисперсии опытов однородны.

Доверительные интервалы для коэффициентов регрессии равны:

$$b_0 = \pm 0,0497; b_i = \pm 0,0304; b_{ij} = \pm 0,0430; b_{ii} = \pm 0,0448$$

При расчете доверительных интервалов табличное значение критерия Стьюдента было принято равным: $t_T = 4,302$, при числе степеней свободы $f_B = 2$.

Ошибки в определении коэффициентов регрессии составили:

$$S_{\{b_0\}} = 0,0115; S_{\{b_i\}} = 0,0071; S_{\{b_{ij}\}} = 0,0100; S_{\{b_{ii}\}} = 0,0104.$$

Так как коэффициент считается значимым, если его абсолютная величина больше доверительного интервала, то коэффициенты b_{22} незначим.

Дисперсия адекватности полученного уравнения при числе степеней свободы $f_{ад.} = 9$ равна:

$$S_{ад.}^2 = 0,00019 .$$

Расчетное и табличное значения F-критерий Фишера составили соответственно:

$$F_P = 0,464;$$

$$F_T = 19,38.$$

Так как $F_P < F_T$, полученная модель адекватна с уровнем значимости 0,05.

Приложение Ж1 – Акт внедрения в колхозе-племенном заводе имени
Ленина



АКТ

внедрения в производство научно-технических
разработок и передового опыта

1. НАИМЕНОВАНИЕ ВНЕДРЕННОГО МЕРОПРИЯТИЯ Шнековый смеситель
периодического действия с активным каналом обратного хода
2. КАКИМ НАУЧНЫМ УЧРЕЖДЕНИЕМ МЕРОПРИЯТИЕ ПРЕДЛОЖЕНО К
ВНЕДРЕНИЮ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»
3. КЕМ И КОГДА ПРИНЯТО РЕШЕНИЕ О ВНЕДРЕНИИ МЕРОПРИЯТИЯ _____
Кажияхметовой Айнур Ароновной
4. АВТОР(Ы) НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКИ И ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА _____
Кажияхметова Айнур Ароновна,
аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
5. НАИМЕНОВАНИЕ ХОЗЯЙСТВА, ЕГО АДРЕС Колхоз-племенной завод имени
В.И. Ленина, 393000, Тамбовская область, Тамбовский район, с. Покрово-Пригородное,
ул. Советская 72, «а».
6. КАЛЕНДАРНЫЕ СРОКИ ВНЕДРЕНИЯ (начало-конец) _____
с 23 ноября по 19 декабря 2020 года
7. ФАКТИЧЕСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ НА ЕДИНИЦУ (га,
голову, машину и т. д.) И НА ВЕСЬ ОБЪЕМ ВНЕДРЕНИЯ на единицу продукции _____
0,0957 руб/кг., на всю продукцию - 234,8 тыс. руб.

Подписи:

Представитель предприятия Заведующий фермой

О.В. Шитова

Главный бухгалтер

Т.Н. Павлова

Представитель ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический университет»

Директор института АрхСиТ, профессор, д.т.н.

П. В. Монастырев

Исполнители мероприятия:

Заведующий кафедрой Агроинженерия, д.т.н., профессор

С.М. Ведишев

доцент кафедры Агроинженерия, к.т.н.

А.В. Прохоров

доцент кафедры Агроинженерия, к.т.н.

А.В. Брусенков

Акт составлен « 19 » декабря 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-инновационной
деятельности ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический
университет», д.т.н., профессор



Д.Ю. Муромцев
2021 г.

АКТ

внедрения в учебный процесс результатов научно-исследовательской работы Кажияхметовой Айнур Ароновны, аспиранта ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Комиссия ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» в составе:

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой «Агроинженерия»,
профессор, д.т.н.

С.М. Ведищев,

Члены комиссии:

зам. директора института АрхСиТ, доцент, к.т.н.
зав. кафедрой ТиТАТ, доцент, к.т.н.

В.А. Гавриков,
А.В. Милованов,

составили настоящий акт в том, что аналитические и экспериментальные результаты научно-исследовательской работы «Шнековый смеситель с активным каналом обратного хода (пат. №2705334)», Кажияхметовой Айнур Ароновны, аспиранта ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», включены в курс лекций и в лабораторный практикум, а также используются при подготовке курсовых и выпускных квалификационных работ.

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой «Агроинженерия»,
профессор, д.т.н.

С.М. Ведищев

Члены комиссии:

зам. директора института АрхСиТ, доцент, к.т.н.

В.А. Гавриков

Зав. кафедрой ТиТАТ, доцент, к.т.н.

А.В. Милованов

Приложение 31 - Расчет объема дополнительных капитальных вложений

Таблица 31 – Смета затрат на материалы, комплектующие, расходные материалы, и электроэнергию для изготовления шнекового смесителя с активным каналом обратного хода

Наименование узлов, деталей, оборудования	Количество n_i , шт.	Общая длина, м	Цена C_i , руб./шт.; руб/м.	Сумма
1. Металлопрокат:				
Уголок 25x25x4	-	2,2	109,76	241,47
Уголок 40x40x4	-	2,2	200,50	441,10
Уголок 50x50x5	-	5,2	308,57	1604,56
Уголок 63x63x5	-	3,4	388,65	1321,41
Труба Ø102x3	-	1,0	549,00	549,00
Труба Ø170x4	-	1,0	1086,00	1086,00
Виток шнека 170x136	шт	5	2150	10750
Виток шнека 170x102	шт	6	2150	12900
Виток шнека 170x68	шт	8	2150	17200
Виток шнека 95x25	шт	7	1750	12250
Сталь листовая 3x1250x2500	1	-	6181,20	6181,20
Сталь листовая 2x1250x2500	2	-	4174,35	4174,35
ИТОГО			68699,09	
Готовые изделия:				
Подшипник	8	-	171,83	1374,64
Манжета	12	-	20,89	250,68
Звездочка:				
- ведущая	4	-	400	1600,00
- ведомая	4	-	450	1800,00
Цепь	-	4,2	450	1890
Мотор-редуктор планетарный	2	-	20400	41100,00
Крепеж	-	-	-	415
Кабель	-	10	35	350
ИТОГО			48480,32	
Заказные детали:				
Корпус подшипника в сборе:				
- внутренний	4		1050	4200,00
- внешний	4		1250	5000,00
Наконечник вала:				
- внешний	4		250	1000,00
- внутренний	4		350	1400,00
ИТОГО			11600,00	
Общая сумма			80299,09	

Объем дополнительных капитальных вложений на изготовление шнекового смесителя с активным каналом обратного хода для сухих рассыпных комбикормов определяли по формуле [77, 81, 126, 127, 133, 144, 155, 176, 183]:

$$K_{\text{дон}} = \sum_{i=1}^n n_i \cdot Ц \cdot (1 + K_{\text{мп}} + K_{\text{м}}) \quad (3.1)$$

где n – количество узлов и деталей i -го наименования, шт., $n=1$ шт;

$Ц$ – цена приобретения узла, детали.

$K_{\text{мп}}$ – транспортно-складские расходы, принимаем равными в среднем 17% от цены приобретения узла или оборудования, следовательно, в долях $K_{\text{мп}}=0,17$;

$K_{\text{м}}$ – затраты на монтаж, демонтаж, накладку, техническую подготовку оборудования, принимаем равным 17% от цены приобретения, в долях $K_{\text{м}}=0,2$;

$$K_{\text{дон}} = 1 \cdot 71145,34 \cdot (1 + 0,17 + 0,2) \approx 97469 \text{ руб}$$


 ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
 REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ПАТЕНТ
PATENT
 № 6448
 ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2021/0182.2
 (22) 23.02.2021
 (45) 24.09.2021

(54) Кері жүріс арнасы бар шнекті араластырғыш
 Шнековый смеситель с каналом обратного хода
 Screw mixer with return channel

(73) «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті» жеке меншік жоғары кәсіби білім беру мекемесі (KZ)
 Частное высшее профессиональное образовательное учреждение «Западно-Казакхстанский инновационно-технологический университет» (KZ)
 «West Kazakhstan Innovative-Technological University» Private Higher Professional Educational Institution (KZ)

(72) Биниязов Абзал Махсотович (KZ) Biniyazov Abzal Makhsotovich (KZ)
 Кажияхметова Айнур Ароновна (KZ) Kazhiyakhmetova Ainur Aronovna (KZ)
 Захаров Виктор Павлович (KZ) Zakharov Viktor Pavlovich (KZ)
 Ведишев Сергей Михайлович (RU) Vedishchev Sergey Mikhailovich (RU)
 Биниязов Елдар Махсотович (KZ) Biniyazov Yeldar Makhsotovich (KZ)



ЭЦК қол қойылды
 Подписано ЭЦП
 Signed with EDS

Е. Оспанов
 Е. Оспанов
 Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
 Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
 Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

Патентті күшінде ұстау ақысы уақытылы төленген жағдайда патенттің күші
Қазақстан Республикасының бүкіл аумағында қолданылады.

Патентке пайдалы модельдің толық сипатта масы www.kazpatent.kz ресми сайтында
«Қазақстан Республикасының пайдалы модельдерінің мемлекеттік тізілімі» бөлімінде қолжетімді

Действие патента распространяется на всю территорию Республики Казахстан
при условии своевременной оплаты поддержания патента в силе.

Full description of the patent for utility model is available on the official website www.kazpatent.kz
in the section «State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan».

Subject to timely payment for the maintenance of the patent in force
the patent shall be effective on the entire territory of the Republic of Kazakhstan.

Full description of the patent for utility model are available on the official website www.kazpatent.kz
in the section «State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan».



Қазақстан Республикасы Өділет министрлігінің
«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК
Нұр-Сұлтан қаласы, Мәңгілік Ел даңғылы, ғимарат 57А

РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Министерства юстиции Республики Казахстан
Город Нур-Султан, проспект Мангилик Ел, здание 57А

«National Institute of Intellectual Property» RSE,
Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan
Nur-Sultan, 57A Mangilik El Avenue

Тел./Tel.: +7 (7172) 62-15-15
E-mail: kazpatent@kazpatent.kz
Website: www.kazpatent.kz