

На правах рукописи



КАЖИЯХМЕТОВА Аннур Ароновна

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

Специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации
сельского хозяйства (технические науки)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-Наукоград, 2022

Работа выполнена на кафедре «Агроинженерия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ») и «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет» (ЗКИТУ).

Научный руководитель **Ведищев Сергей Михайлович,**
доктор технических наук, профессор

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

Терюшков Вячеслав Петрович,
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», кафедра «Технический сервис машин», доцент

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный аграрно-технологический университет им. П. А. Костычева»

Защита диссертации состоится 29 июня 2022 г. в 10-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефте-продуктов в сельском хозяйстве», по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел/факс (47545)3-88-13, доб. 3-82, e-mail: dissov@mgau.ru.

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

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

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Михеев Николай Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. 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 поставлена задача полностью обеспечить страну молоком собственного производства.

Молочное скотоводство в России – ведущая и наиболее сложная отрасль животноводства. В отрасли работают более 1,5 млн человек – около 2% всех занятых в России. От крупного рогатого скота получают молоко (98%) и около 40% мяса.

Неоптимальное соотношение питательных компонентов в рационе животных по элементам питания ведет к снижению среднесуточного прироста их массы на 30...35% и увеличению затрат кормов на единицу продукции на 50%. В структуре рационов крупного рогатого скота концентрированные корма составляют до 35%. Сбалансированные по питательным веществам корма позволяют на 15...20% повысить продуктивность животных по сравнению с использованием несбалансированных кормосмесей, сопоставимых с ними по общей питательности.

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.

Производство комбикормов обеспечивается как крупными промышленными предприятиями, так и сетью мелких, имеющих возможность использовать малоэнергоемкие технические средства, местное сырье и все технологические приемы, способствующие высокопродуктивному действию производимых комбикормов. Перенос производства непосредственно к источнику сырья и потребителю продукции уменьшает расходы на транспортировку и хранение продукции в 5 – 10 раз.

Большинство выпускаемого комбикормового оборудования рассчитано на многоуровневый (заводской) вариант их размещения и не может эффективно быть использовано в небольших хозяйствах. У поставляемой отечественной промышленностью техники низкие показатели качества. Ее конкурентоспособность на внутреннем рынке сохраняется в основном по ценовым параметрам.

Многокомпонентность комбикормов, высокие требования к их качеству обуславливают сложность выбора эффективного технологического оборудования для их смешивания.

Поэтому совершенствование конструкции смесительного агрегата, определение рациональных параметров и режимов работы шнековых смесительных рабочих органов, обеспечивающих снижение удельных энергозатрат, при соблюдении показателей качества в соответствии с нормативами является актуальной 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 для определения направлений их дальнейших исследований определяющими являются работы В. М. Аблаутова, А. А. Александровского, М. Я. Бойко, В. А. Васильева, А. А. Вишневецкого, А. Н. Глобина, И. В. Гончаревича, А. И. Завражнова, Г. Ф. Иванова, В. Г. Кобы, Б. А. Комарова, В. В. Коновалова, Б. В. Конова, Н. И. Кулешова, Л. М. Куцына, Ю. И. Макарова, М. Л. Маргулиса, А. В. Матяшина, А. В. Надежина, В. А. Овчинникова, М. Г. Палкина, В. Ф. Першина, К. Г. Петрова, Е. А. Раскатовой, С. А. Ревенко, А. Д. Селезнева, Е. И. Смирнова, Л. В. Сурковой, В. И. Сыроватки, М. Я. Талейкина, В. П. Терюшкова, Н. П. Тишанинова, И. А. Уланова, В. М. Ульянова, Н. Б. Урьева, В. В. Утолина, М. М. Фирсова, В. Ф. Хлыстунова, В. Я. Черкуна, Е. Г. Штагина и др.

Анализ изученных работ показал, что недостаточно проработанным является 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 выдвигается 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 организациями 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 и апробация результатов. 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 производство.

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

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

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.

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 работы, выполненные в соавторстве, автор внес основной вклад, заключающийся в формулировке цели и задач исследования, в разработке теоретической части и личном участии в проведении экспериментальных исследований.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приведена краткая характеристика рассматриваемой темы, обоснована актуальность исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, цель и задачи исследований.

В **первой главе** «Состояние вопроса смешивания кормов, цель и задачи исследования» проанализирована эффективность кормления животных, обоснована технология приготовления сухого рассыпного комбикорма в условиях небольших хозяйств, приведены методы анализа и критерии оценки качества смешивания, обзор и анализ конструкций смесительных устройств, обзор основных исследований в области смешивания и рабочих органов смесителей сыпучих материалов, сформулированы цель и задачи исследований.

За основу при разработке технологического процесса в качестве образца для исследований и дальнейшей разработки целесообразно принять следующую конструкцию смесителя: по виду кормов – для сухих рассыпных; 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.

Во **второй главе** «Теоретические исследования и обоснование параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода» определены факторы, влияющие на процесс смешивания, описана конструктивно-технологическая схема предлагаемого смесителя, обоснованы его параметры.

Технологический процесс работы смесителя (рис. 1) осуществляется следующим 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, на котором часть корма захватывается лопастями 20 и через отверстия 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 лопатками 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.

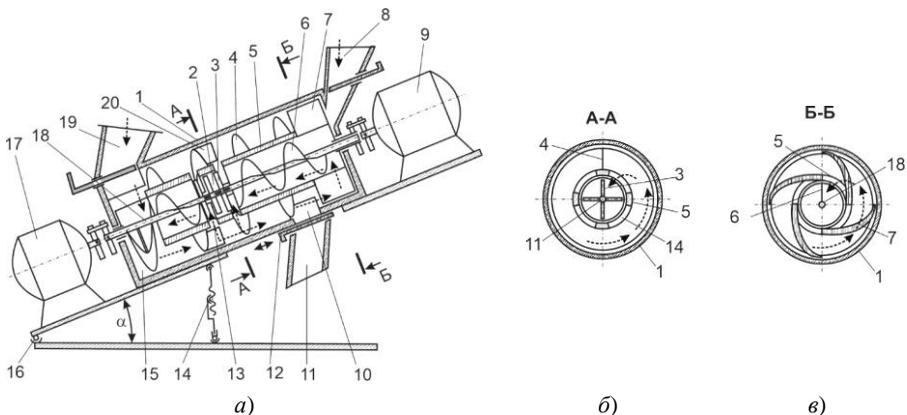


Рис. 1. Смеситель с активным каналом обратного хода (патент РФ № 2705334):

- a* – 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 – отверстия; 14 – винтовой механизм; 15 – загрузочная часть шнека; 16 – ось; 18 – вал; 19 – загрузочный бункер; 20 – плоские лопатки

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

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 щелевых отверстий в канале обратного хода, а также взаимопроникновения потоков материала при движении кормосмеси под действием шнека от участка загрузки к участку выгрузки.

Эффективная работа смесителя определяется требованиями:

$$\begin{cases} Q_{\phi} \geq Q_{\text{тр}}; \\ v_{\phi} \leq [v_{\text{зоот}}]; \\ N_{\text{уд}} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1)$$

где Q_{ϕ} и $Q_{\text{тр}}$ – фактическая и технологическая производительность смесителя соответственно, кг/с; $v_{\phi} \leq [v_{\text{зоот}}]$ – фактическая и зоотехническая неоднородность смеси, %; $N_{\text{уд}}$ – удельные энергозатраты на процесс смешивания, Вт·с/кг.

Полезный объем смесителя ($V_{\text{пс}}$) определяется из выражения

$$V_{\text{пс}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{ро}} = V_{\text{общ}} (1 - \phi_{\text{ро}}), \quad (2)$$

где $V_{\text{общ}}$ – общий объем смесителя, м³; $V_{\text{ро}}$ – объем, занимаемый рабочими органами, м³; $\phi_{\text{ро}}$ – коэффициент, учитывающий объем рабочих органов.

Общий объем смесителя (рис. 2) составит

$$V_{\text{общ}} = \frac{\pi}{4} (D_1 + \delta_1)^2 L_{\text{см}}, \quad (3)$$

где D_1 – наружный диаметр шнека, м; δ_1 – зазор между винтом шнека и корпусом смесителя, $\delta_1 = (2 \dots 3) \cdot 10^{-3}$, м; $L_{\text{см}}$ – длина камеры смесителя, м.

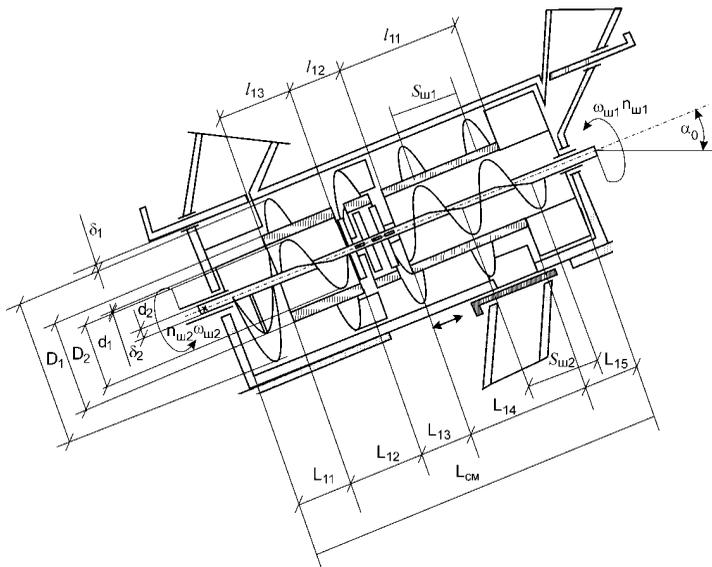


Рис. 2. Расчетная схема смесителя

Объем рабочих органов смесителя

$$V_{\text{ро}} = V_{\text{ш}} + V_{\text{тан}} + V_{\text{доп1}} + V_{\text{диф}} + V_{\text{доп2}} + V_{\text{вал1}} + V_{\text{вал2}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ш}}$ – объем, занимаемый шнековой навивкой, м³; $V_{\text{тан}}$ – объем, занимаемый тангенциальными лопатками, м³; $V_{\text{доп1}}$ – объем, занимаемый винтовой навивкой дополнительного шнека на участке L_{14} , м³; $V_{\text{диф}}$ – объем, занимаемый лопатками, м³; $V_{\text{доп2}}$ – объем, занимаемый винтовой навивкой дополнительного шнека на участке L_{12} , м³; $V_{\text{вал1}}$ – объем, занимаемый валом шнека, м³; $V_{\text{вал2}}$ – объем, занимаемый валом дополнительного шнека, м³.

Производительность смесителя определяется по формуле

$$Q_{\text{см}} = \frac{V_{\text{пс}} \rho_{\text{н}} \varphi_{\text{н}}}{t_{\text{см}} + t_{\text{заг}} + t_{\text{выг}}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность корма, кг/м³; $\varphi_{\text{н}}$ – коэффициент заполнения смесительной камеры; $t_{\text{см}}$, $t_{\text{заг}}$, $t_{\text{выг}}$ – время смешивания, загрузки и выгрузки соответственно, с.

Объем порции кормовой смеси определяется как сумма объемов на каждом из участков смесительной камеры:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{пс}} = & \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] L_{11} \varphi_{\text{ш1}} + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] L_{12} \varphi_{\text{ш1}} + \\
 & + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] L_{13} \varphi_{\text{шл}} + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - D_2^2 \right] L_{14} \varphi_{\text{ш2}} + \\
 & + \frac{\pi}{4} \left[(D_1 + \delta_1)^2 - d_2^2 \right] L_{15} \varphi_{\text{тан}} + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] L_{14} \varphi_{\text{доп1}} + \\
 & + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] L_{13} \varphi_{\text{диф2}} + \frac{\pi}{4} \left[(d_1 + \delta_2)^2 - d_2^2 \right] L_{12} \varphi_{\text{доп2}}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где δ_2 – зазор между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, м; D_1 – внутренний диаметр шнека, м; d_1 – наружный диаметр дополнительного шнека, м; d_2 – внутренний диаметр дополнительного шнека, м; L_{11} , L_{12} , L_{13} , L_{14} , L_{15} – длина загрузочной части шнека, между участком загрузки и участком пересыпания, участка пересыпания, между участком пересыпания и участком тангенциальных лопаток, участок тангенциальных лопаток соответственно, м; $\varphi_{\text{ш1}}$, $\varphi_{\text{шл}}$, $\varphi_{\text{ш2}}$, $\varphi_{\text{тан}}$, $\varphi_{\text{доп1}}$, $\varphi_{\text{диф2}}$, $\varphi_{\text{доп2}}$ – коэффициент заполнения на соответствующих участках.

Продолжительность времени приготовления смеси зависит от времени цикла:

$$t_{\text{см}} = t_{\text{ц}} K_{\text{ц}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время одного цикла смесителя, с; $K_{\text{ц}}$ – количество циклов, шт.

Время цикла будет складываться из времени прохождения компонентов смеси по всем участкам рабочего органа и определяется по выражению

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{диф1}} + t_{\text{ш2}} + t_{\text{тан}} + t_{\text{доп1}} + t_{\text{диф2}} + t_{\text{доп2}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{ш1}}$, $t_{\text{диф1}}$, $t_{\text{ш2}}$, $t_{\text{тан}}$, $t_{\text{доп1}}$, $t_{\text{диф2}}$, $t_{\text{доп2}}$ – время нахождения смеси в шнековой навивке на участках $(L_{11} + L_{12})$, L_{13} , L_{14} , тангенциальных лопаток L_{15} , дополнительном шнеке на участке L_{14} , в зоне лопаток L_{13} , на участке L_{12} соответственно, с.

Время нахождения смеси на каждом из участков будет определяться осевой скоростью. Для исключения застойных зон в смесителе при определении осевой скорости кормовой смеси необходимо выполнить условие непрерывности потока на каждом из участков:

$$Q_{\text{ш1}} = Q_{\text{диф1}} = Q_{\text{ш1}} - Q_{\text{шл}} = Q_{\text{ш2}} + Q_{\text{шл}} = Q_{\text{тан}} + Q_{\text{шл}} = Q_{\text{доп1}} + Q_{\text{шл}} = Q_{\text{диф2}} = Q_{\text{доп2}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{ш1}}$, $Q_{\text{диф1}}$, $Q_{\text{ш2}}$, $Q_{\text{тан}}$, $Q_{\text{доп1}}$, $Q_{\text{диф2}}$, $Q_{\text{доп2}}$ – подача шнека на шнековых участках $L_{11} + L_{12}$, пересыпания L_{13} , L_{14} , тангенциальных лопаток L_{15} , дополнительного шнека на участках L_{14} , L_{13} , L_{12} соответственно, кг/с; $Q_{\text{шл}}$ – подача кормовой смеси плоскими лопатками через окна, кг/с.

Подача кормовой смеси плоскими лопатками определяется как

$$Q_{\text{шп1}} = V_{\text{шп1}} \rho_{\text{н}} z_{\text{шп1}} n_{\text{шп1}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{шп1}}$ – объем корма, захватываемый одной плоской лопаткой, м^3 ; $z_{\text{шп1}}$ – количество лопаток, шт.; $n_{\text{шп1}}$ – частота вращения шнека, с^{-1} .

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. 3).

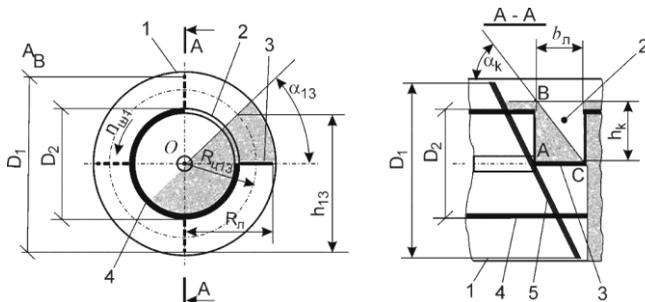


Рис. 3. Расчетная схема определения подачи плоскими лопатками на участке пересыпания:

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

Подача кормовой смеси плоскими лопатками определяется по выражению

$$Q_{\text{шп1}} = \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) b_{\text{л}}^2 \operatorname{tg} \alpha_k \varphi_{\text{шп1}} \rho_{\text{н}} z_{\text{шп1}} n_{\text{шп1}}, \quad (11)$$

где α_k – угол внутреннего трения корма, °; $\varphi_{\text{шп1}}$ – коэффициент, учитывающий наполнение сечения шнека; $b_{\text{л}}$ – ширина плоских лопаток, м.

Осевая скорость $\vartheta_{\text{диф1}}$ перемещения кормовой смеси на шнековом участке взаимопроникновения кормовых потоков L_{13} определяется по формуле

$$\vartheta_{\text{диф1}} = \vartheta_{\text{шп1}} = D_1 n_{\text{шп1}} K_{\text{шп1}} K_{\alpha 1}. \quad (12)$$

Для исключения смещения кормовой смеси в канале обратного хода вал дополнительного шнека и канал обратного хода, на котором закреплена шнековая навивка, должны вращаться в противоположные стороны, причем $2n_{\text{шп1}} = n_{\text{доп2}}$.

Тогда из условия непрерывности потока и исключения застойных зон подача кормовой смеси дополнительной шнековой навивкой запишется выражением

$$Q_{\text{шп1}} = Q_{\text{доп2}}, \quad (13)$$

$$\text{или } \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} D_1 n_{\text{шп1}} K_{\text{шп1}} \rho_{\text{н}} \varphi_{\text{шп1}} K_{\alpha 1} = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} d_1 K_{\text{доп2}} n_{\text{доп2}} \rho_{\text{н}} \varphi_{\text{доп2}} K_{\alpha 2}. \quad (14)$$

Максимальная подача рабочих органов смесителя определяется следующим соотношением:

$$K_L = \frac{D_1}{d_1} \leq \sqrt{1 + \frac{K_{\text{доп2}}}{K_{\text{ш1}} K_{\alpha 1}^2}}, \quad (15)$$

где K_L – коэффициент, учитывающий соотношение между наружными диаметрами шнека и дополнительного шнека; $K_{\text{ш1}}$ – отношение шага к диаметру шнека; $K_{\text{доп2}}$ – отношение шага к диаметру дополнительного шнека; $K_{\alpha 1}$ – коэффициент, учитывающий угол наклона корпуса шнека к горизонту.

Моделирование объемной подачи с учетом коэффициента K_L позволило установить, что рациональное количество витков шнека на участке L_{12} должно составлять четыре витка. Увеличение количества витков шнека приводит к увеличению полезного объема смесителя, но при этом возрастает продолжительность перемещения кормовой смеси, что сказывается на производительности.

Мощность на привод смесителя определяется по выражению

$$N_{\text{см}} = N_1 + N_2, \quad (16)$$

где N_1, N_2 – мощность на привод шнека и дополнительного шнека соответственно, Вт.

Мощность на привод шнека определяется по выражению

$$N_1 = N_{\text{ш11}} + N_{\text{ш12}} + N_{\text{ш13}} + N_{\text{ш14}} + N_{\text{тан}}, \quad (17)$$

где $N_{\text{ш11}}$ – мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{11} (рис. 2), Вт; $N_{\text{ш12}}$ – мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{12} , Вт; $N_{\text{ш13}}$ – мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{13} , Вт; $N_{\text{ш14}}$ – мощность, затрачиваемая на привод шнека на участке L_{14} , Вт; $N_{\text{тан}}$ – мощность на привод вала шнека на участке тангенциальных лопаток (на участке L_{15}), Вт.

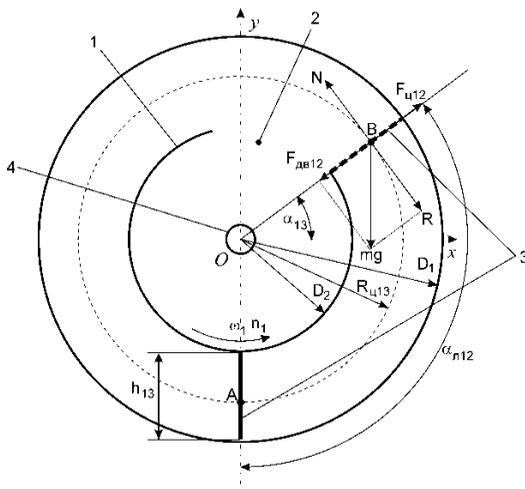


Рис. 4. Схема сил, действующих на лопатку на участке пересыпания:

1 – корпус; 2 – окно; 3 – лопатка; 4 – канал обратного хода

Мощность на привод дополнительного шнека определяется по выражению

$$N_2 = N_{\text{доп12}} + N_{\text{доп13}} + N_{\text{доп14}}, \quad (18)$$

где $N_{\text{доп12}}, N_{\text{доп13}}, N_{\text{доп14}}$ – мощность, затрачиваемая на привод дополнительного шнека на участках L_{12}, L_{13}, L_{14} соответственно, Вт.

Мощность на перемещение кормовой смеси лопаткой определяется по выражению

$$N_{\text{ш13л}} = gQ_{\text{шл}}L_{\text{ш13}}K_{\text{ш13}}, \quad (19)$$

где $L_{\text{ш13}}$ – расстояние, на которое перемещается кормовая смесь под действием лопатки по дуге AB , образованной радиусом $R_{\text{ш13}}$ (рис. 4), м; $K_{\text{ш13}}$ – коэффициент сопротивления движению.

После преобразования получается

$$N_{\text{ш13л}} = g \left(\frac{D_1 - D_2}{2} \right) b_d \operatorname{tg} \alpha_k \varphi_{\text{шл}} \rho_n \gamma_{\text{шл}} n_{\text{ш1}} 2\pi \frac{2D_1 + D_2}{6} \left(\frac{\arctg \left(\frac{2g}{\omega_{\text{ш1}}^2 D_1} \right) + 90^\circ}{360^\circ} \right) K_{\text{ш13}}, \quad (20)$$

где $\varphi_{\text{ш1}}$ – угловая скорость лопатки, с^{-1} .

Удельные затраты энергии определяются по выражению

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{см}}}{Q_{\text{см}}}, \quad (21)$$

где $N_{\text{уд}}$ – удельные затраты энергии на процесс смешивания, Вт·с/кг.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований процесса смешивания в шнековом смесителе с активным каналом обратного хода» представлены программа экспериментальных исследований, частные методики определения физико-механических свойств кормовой смеси, исследование подачи кормовой смеси из бункера в смеситель, методика исследования рациональных конструктивно-режимных параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.

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.

Для достижения цели экспериментальных исследований были предложены следующие этапы проведения работ:

- уточнение и исследование физико-механических свойств компонентов кормовой смеси;

- 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.

Экспериментальные исследования проводились с учетом пределов варьируемых факторов, обработка и анализ результатов опыта осуществлялись с использованием ПЭВМ. Повторность и количество опытов определялись с учетом зависимостей между числом повторностей опытов и относительной ошибкой.

Для проведения экспериментов была разработана экспериментальная установка шнекового смесителя периодического действия с активным каналом обратного хода (рис. 5, 6). Конструкция установки позволяет изменять исследуемые параметры и режимы работы смесителя в пределах, достаточных для решения поставленных задач.

Факторы, уровни варьирования, критерии оценки шнекового рабочего органа смесителя представлены в табл. 1.

Для исследования подачи и мощности на привод шнека 19 (рис. 5) в бункер 6 загружалась заранее измеренная порция наполнителя (ячменная или пшеничная дерть). Винтовым механизмом 27 устанавливался на заданный угол корпус 26 смесителя. Угол установки корпуса смесителя контролировался по угломеру 2. Включался привод 14 шнека 19. Частным преобразователем 13 устанавливалась необходимая частота вращения шнека 19, которая контролировалась тахометром 15. Открывалась заслонка 5 и фиксировалось время начала процесса подачи компонента из бункера 6 в загрузочную часть шнека 19.

Продолжительность выгрузки порции корма из бункера 6 фиксировалась секундомером.

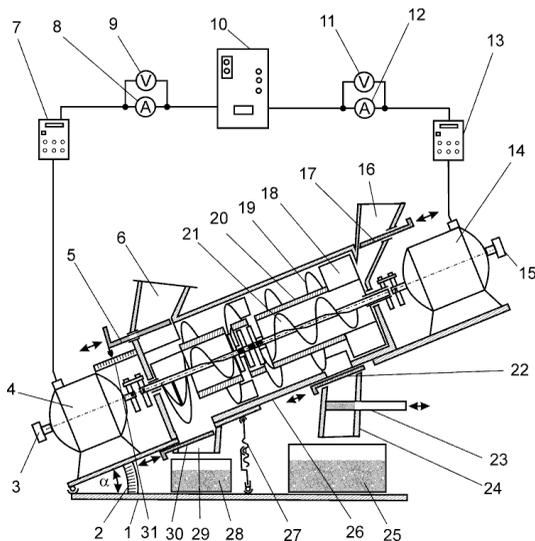


Рис. 5. Схема экспериментальной установки:

- 1 – рама; 2 – угломер; 3, 15 – тахометр; 4 – привод шнека; 5, 17, 22, 30 – заслонки; 6 – бункер наполнителя; 7, 13 – частотные преобразователи; 8, 12 – амперметры; 9, 11 – вольтметры; 10 – пульт управления; 14 – привод дополнительного шнека; 16 – бункер контрольного компонента; 18 – тангенциальные лопатки; 19 – шнек; 20 – канал обратного хода; 21 – дополнительный шнек; 23 – прободоотборник; 24, 29 – выгрузные патрубки; 25, 28 – емкости; 26 – корпус смесителя; 27 – винтовой механизм; 31 – шкала

В ходе теоретических исследований было установлено, что на качество получаемой смеси и удельные энергозатраты процесса смешивания оказывают влияние частота вращения шнека, продолжительность смешивания и угол наклона корпуса смесителя к горизонту.

Для проведения эксперимента и получения модели процесса в виде полинома второй степени был выбран некомпозиционный план второго порядка Бокса и Бенкина.

За количественный критерий оптимизации смесителя были выбраны удельные затраты энергии на процесс смешивания. Качественным критерием оптимизации являлась неоднородность смеси, характеризуемая коэффициентом вариации (табл. 2).



Рис. 6. Общий вид экспериментальной установки

1. Факторы, уровни варьирования, критерии оценки исследования шнека

Лабораторная установка	Конструктивно-кинематические и режимные параметры	Уровни варьирования факторов	Критерии оценки
Шнековый смеситель	Угол наклона корпуса смесителя к горизонту α , °	0; 10; 15; 20; 25; 30; 35	Подача $Q_{ш}$ кг/с; мощность $N_{ш}$, Вт
	Частота вращения шнека $n_{ш}$, с ⁻¹	1,73; 2,08; 2,43; 2,77; 3,12; 3,47; 3,82	

2. Факторы, интервалы и уровни их варьирования исследования смесителя

Код	Фактор	Уровни и интервалы варьирования факторов			
		-1	0	+1	ϵ
x_1	Частота вращения рабочих органов $n_{р.о.}$, 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, °	25	30	35	5

В четвертой главе «Результаты и анализ экспериментальных исследований шнекового смесителя с активным каналом обратного хода» уточнены физико-механические свойства кормов, их подача и истечение из бункера смесителя, затраты мощности на привод шнека, обоснованы рациональные значения режимных и технологических параметров шнекового смесителя с активным каналом обратного хода.

После реализации эксперимента и обработки полученных данных были получены полиномиальные модели, описывающие зависимость коэффициента вариации (Y_1) (22) и удельных затрат энергии (Y_2) (23) на процесс смешивания от частоты вращения шнека (x_1), времени смешивания порции корма (x_2) и угла наклона корпуса смесителя к горизонту (x_3):

$$Y_1 = 10,6083 - 3,6126x_1 - 2,3685x_2 + 0,8654x_3 + 0,9091x_1^2 + 0,4396x_2^2 + 0,3003x_1x_2 + 0,4164x_1x_3 - 0,3632x_2x_3; \quad (22)$$

$$Y_2 = 1706,2 + 135,85x_1 + 469,35x_2 + 197,65x_3 + 62,875x_1^2 + 97,975x_2^2 + 156,05x_1x_2 + 79,65x_1x_3 + 61,5x_2x_3. \quad (23)$$

Дисперсионный анализ уравнений показал, что они адекватно описывают результаты эксперимента. В расчетах принят уровень значимости, равный 0,95.

Расчеты выполнялись в программе Microsoft Excel 2007. Для определения значений режимных и технологических параметров смесителя в точках экстремума использовали метод построения двумерных сечений поверхности отклика. Для нахождения значений функции в точках экстремума, построения сечений поверхностей отклика применяли программу Mathcad 14.

Решая системы уравнений (22) и (23), получили: $x_1^v = 2,448$; $x_2^v = 1,863$; $x_3^v = -2,012$; $x_1^{y_d} = 3,341$; $x_2^{y_d} = -7,486$; $x_3^{y_d} = 7,686$. Все полученные значения для системы уравнений (22) и (23) находятся за пределами исследуемой области.

При увеличении частоты вращения и продолжительности смешивания качество смеси повышается. При этом стоит отметить, что при изменении частоты вращения от 2,5 до 3,0 с⁻¹ и при продолжительности смешивания 180 с угол наклона шнека к горизонту существенного влияния на неравномерность не оказывает.

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 до 240 с и частоты вращения до 4 с⁻¹ качество смеси улучшается с одновременным повышением удельных затрат энергии на процесс.

Поиск рациональных значений параметров сводится к определению таких их значений, при которых будет достигнуто качество смеси, соответствующее зоотехническим требованиям, с минимальными удельными затратами 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. 7).

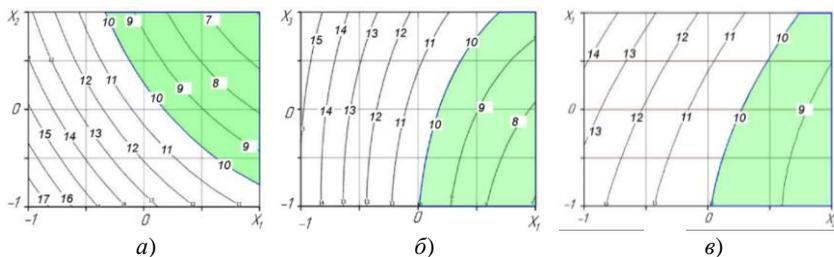


Рис. 7. Поверхности отклика коэффициента вариации в границах эксперимента:

$$a - x_3^v = 0; \quad б - x_2^v = 0; \quad в - x_1^v = 0$$

По графикам определили предельные значения параметров, при которых качество смеси удовлетворяет зоотехническим требованиям, и по ним рассчитали соответствующие им величины удельных затрат энергии на процесс смешивания.

Параметры, при которых смесь соответствует зоотехническим требованиям ($v \leq 10\%$): частота вращения шнека $3,5 \text{ с}^{-1}$; время смешивания $\tau_{\text{см}} = 135 \dots 240 \text{ с}$; угол наклона шнека к горизонту – 30° ; при этом удельные затраты энергии составят $1491 \text{ Вт}\cdot\text{с}/\text{кг}$.

В пятой главе «Технико-экономическая оценка эффективности внедрения разработанного смесителя» выполнена сравнительная оценка эффективности применения смесителя кормов с активным каналом обратного хода. Для сравнения был выбран смеситель КУ-100, применяемый в комбикормовой установке КУ-2-2 производства ОАО «Слободской машиностроительный завод».

Производственная проверка предлагаемого смесителя комбикормов в колхозе-племзаводе 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 предложенный смеситель имеет улучшенные показатели качества технологического процесса: неоднородность ниже на $26,6\%$, удельные затраты энергии на процесс приготовления комбикорма снижаются на $75,3\%$ и составляют $0,41 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$, при этом производительность составляет $1,12 \text{ т}/\text{ч}$.

За счет снижения удельных затрат энергии планируемый годовой экономический эффект составит $234,8 \text{ тыс. руб.}$, срок окупаемости $5,6 \text{ месяца}$.

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 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 удельных затрат 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 позволили установить, что:

– при изменении частоты вращения шнека от 2,0 до 4,0 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, равное 17,21 Вт, соответствует горизонтальному расположению корпуса шнека, отношению шага винта к горизонту 0,8 и частоте вращения рабочего органа 1,73 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 с⁻¹ (подача составляет 1,85 кг/с);

– при частоте вращения от 2,5 до 3,5 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 влияние 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 $n_{шт1} = 3,5$ с⁻¹, время смешивания $\tau_{см} = 180...240$ с; угол наклона шнека к горизонту $\alpha = 30^\circ$; 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 составляют 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. руб., 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 обеспечивает 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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИСЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. 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.

2. Исследование коэффициента лобового сопротивления лопастки / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев, А. В. Прохоров, **А. А. Кажияхметова**, М. К. Бралиев // Наука в центральной России. – 2019. – № 3. – С. 30 – 36.

3. Исследование энергозатрат шнекового дозатора-смесителя / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. И. Завражнов, Н. В. Хольшев, **А. А. Кажияхметова** // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – Рязань: Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 96 – 101.

В других научных изданиях:

4. 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), Т. II. – С. 65 – 72.

В материалах конференций:

5. Ведищев, С. М. Анализ малогабаритных комбикормовых агрегатов [Электронный ресурс] / С. М. Ведищев, **А. А. Кажияхметова**, Н. В. Хольшев; под общ. ред. Ю. В. Родионова // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья // материалы I Всерос. конф. с междунар. участием; ФГБОУ ВО «ПТТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ПТТУ», 2019. – С. 135 – 151.

6. Анализ шнековых дозаторов / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, О. В. Ларионова, **А. А. Кажияхметова** ; редкол. : Н. Н. Романюк и др. // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Белагро-2019» (Минск, 6–7 июня 2019 г.). – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 333 – 337.

7. 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 нац. науч.-практ. конф. 14 декабря 2017 года. – Рязань : Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета, 2017. – Ч. 2. – С. 54 – 58.

8. 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. тр. Междунар. науч.-практ. конф. им. В. И. Вернадского, 29 – 31 мая 2019 г., г. Тамбов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 151 – 154.

9. Дозатор-смеситель сухих рассыпных кормосмесей / **А. А. Кажияхметова**, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, А. Г. Павлов, Г. В. Рыбин // Современная наука: теория, методология, практика : III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 307 – 311.

10. Моделирование процесса смешивания в шнековом смесителе с активным каналом обратного хода для получения экологически безопасных смесей : в 2-х т. Т. II. / **А. А. Кажияхметова**, А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, М. Е. Выгузов // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21 – 23 октября 2020 г. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 320 – 324.

11. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода / **А. А. Кажияхметова**, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, А. С. Иванов // Современная наука: теория, методология, практика : III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 301 – 303.

12. Затраты мощности шнекового дозатора / В. О. Котовская, С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, **А. А. Кажияхметова**, А. С. Ткачев // материалы 2-й Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., 28–29 мая 2020 г. ; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2020. – С. 241 – 245.

13. Экспериментальные исследования затрат мощности шнекового дозатора / В. О. Котовская, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, **А. А. Кажияхметова**, А. С. Ткачев // Современная наука: теория и практика : материалы 2-й Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2020. – С. 245 – 248.

Патенты:

14. Пат. 2705334 РФ, МПК7 А 01 К 5/00 (2006.01) В 01 F 7/08 (2006.01). Смеситель для сыпучих кормов / 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.

15. Пат. 6448 РК. Шнековый смеситель с каналом обратного хода / 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.

Подписано в печать 18.04.2022.
Формат 60 × 84 / 16. 1,16 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 11

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392008, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112А
Телефон (4752) 63-07-46.
E-mail: tipo_tstu68@mail.ru