

На правах рукописи



Школьников Павел Николаевич

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И
РАЗДАЧИ КОРМОВ, АДАПТИРОВАННЫЕ К УСЛОВИЯМ
МАЛЫХ ФЕРМ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Краснодар – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Научный
консультант:
Официальные
оппоненты:

Щитов Сергей Васильевич
доктор технических наук, профессор

Коновалов Владимир Викторович
доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО Пензенский государственный технологический университет;

Сабиев Уахит Калижанович
доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии факультета технического сервиса в АПК ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина;

Садов Виктор Викторович
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет.

Ведущая
организация: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Защита состоится «27» апреля 2022 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, корпус факультета механизации, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ www.kubsau.ru. Автореферат разослан «__» _____ 2022 г., размещен на официальном сайте и ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ <https://vak2.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ www.kubsau.ru/.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук, профессор Фролов Владимир Юрьевич



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Технология приготовления, транспортировки и раздачи кормов в зависимости от местных условий применения может иметь три поточных технологических линии: со стационарными средствами механизации, с мобильными и смешанными средствами механизации приготовления и раздачи кормов.

При этом, наиболее универсальной является технология приготовления и раздачи кормов мобильными раздатчиками, которые в состоянии обслужить большое количество животных, размещенных в удаленных друг от друга помещениях. Они также способны за один цикл выполнить операции по транспортировке, приготовлению и раздаче кормов без их перевалки. Исследованиями установлено, что эффективность использования мобильных кормораздатчиков повышается с увеличением поголовья коров на фермах, а, следовательно, и годового объема работ по раздаче кормов.

В Российской Федерации насчитывается более 20,4 тыс. малых (до 100 коров) молочных ферм, что составляет 20 % от общего их числа. Имеется также большое количество ферм с поголовьем от 100 до 400 коров. На таких фермах годовой объем работ по приготовлению и раздаче кормов незначителен. На сегодняшний день, на малых фермах все еще используется ручной труд, в виду отсутствия требуемого комплекта машин, способного обеспечить механизацию производственных процессов в полном объеме. В этой связи требуется проведение исследований по созданию технологии и технических средств, адаптированных к условиям созданных и создаваемых ферм малой производственной мощности.

Наличие таких технических средств позволяет оперативно перенастраивать их на выполнение смежных процессов путем оперативной перекомпоновки схем, а также эффективно управлять режимами и параметрами работы.

Исследования по теме диссертации, проводились в ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ по научно-технической программе на 2011-2015 г. и 2016-2020 г., тема 20 – «Система технологий и машин для животноводства Амурской области», номер государственной регистрации 01200503562.

Степень разработанности темы. Проблеме создания высокоэффективной технологической системы механизированного кормления животных посвящены исследования В.Р. Алешкина, А.В. Бурмаги, А.И. Завражного, Б.Г. Зиганшина, С.А. Иванова, В.Г. Кобы, Ю.Б. Куркова, Г.М. Кукты, В.И. Курдюмова, С.В. Мельникова, В.В. Самуйло, У.К. Сабиева, В.В. Садова, Д.П. Сысоева, В.Ю. Фролова, Г.П. Юхина и других учёных.

Однако, до настоящего времени не решена проблема повышения эффективности функционирования системы механизированного кормления животных в условиях малых ферм, за счёт снижения энергоёмкости и металлоёмкости применяемого оборудования, путем разработки малогабаритных многооперационных технических средств блочно-модульного типа, обладающих высокой степенью универсальности и технологической гибкости.

Научная концепция работы заключается в систематизации и обобщении имеющихся и получении новых научных знаний для проектирования технологий и конструирования инновационных технических средств, обеспечивающих реализацию процессов приготовления кормовых смесей на основе сочного и грубого кормового сырья, гранул, брикетов и заменителя цельного молока на основе соево-тыквенных композиций с помощью многооперационных машин блочно-модульного типа с научных позиций, характеризующих процессы, как трансформирующиеся в пространстве и времени материальные дискретно-поточные системы.

Научная гипотеза заключается в том, что повышение затратно-энергетической эффективности функционирования технологической системы с техническими средствами, адаптированными к условиям малых ферм крупного рогатого скота, возможно путем разработки и создания взаимосвязанной совокупности технических средств блочно-модульного типа для подготовки, приготовления, хранения, транспортирования и раздачи кормовых продуктов на основе рациональных схем их компоновки и использования, режимы и параметры работы которых установлены в результате выявленных многофакторных зависимостей теоретического и эмпирического характера.

Объект исследования – технологический процесс механизиро-

рованного кормления крупного рогатого скота с помощью технических средств блочно-модульного типа, адаптированных к условиям малых ферм.

Предмет исследования – закономерности процесса механизированного кормления крупного рогатого скота с помощью технических средств блочно-модульного типа, как трансформирующейся в пространстве и времени по составу и свойствам материальной дискретно-поточковой системы, при воздействии на нее управляемых факторов.

Цель: снижение энергоемкости и металлоемкости процесса механизированного кормления крупного рогатого скота путем разработки технических средств блочно-модульного типа, адаптированных к условиям малых ферм, с обоснованием параметров и режимов их работы.

Задачи исследований:

1. Разработать и обосновать модель оценки затратно-энергетической эффективности функционирования технологической системы механизированного кормления КРС с техническими средствами блочно-модульного типа, адаптированных к условиям малых ферм;
2. Установить аналитические зависимости и математические модели, характеризующие процессы, осуществляемые техническими средствами блочно-модульного типа во взаимной связи их технологических, режимных и конструктивных параметров;
3. Получить эмпирическим путем математические модели, характеризующие взаимосвязь технологических и конструктивно-режимных параметров с выявлением их оптимальных значений в технических средствах блочно-модульного типа в виде многооперационного малогабаритного мобильного раздатчика-питателя кормов, многооперационного малогабаритного стационарного пресс-гранулятора-брикетировщика и малогабаритного многооперационного дезинтеграционно-экстракционного устройства с установлением степени сходимости теоретических и экспериментальных данных;
4. Провести производственную проверку основных результатов исследований и дать им технико-экономическую оценку;
5. Разработать рекомендации по конструированию и созданию тех-

нических средств блочно-модульного типа, адаптированных к условиям малых ферм КРС.

Научная новизна:

1) обоснованная модель оценки затратно-энергетической эффективности функционирования системы механизированного кормления КРС, адаптированной к условиям малых ферм, как дискретно-поточковой системы, трансформирующейся в пространстве и времени по составу;

2) установленные аналитические зависимости и математические модели, характеризующие процессы:

– измельчения кормового сырья, послойного заполнения им бункера, смешивания и дозированной подачи и выдачи кормовых продуктов с помощью малогабаритного многооперационного мобильного раздатчика-питателя кормов (ММ МРПК);

– усреднения влаги, уплотнения и формования кормовых композиций с помощью малогабаритного многооперационного стационарного пресс-гранулятора-брикетировщика (ММ СПГБ);

– извлечения питательных веществ из соево-корнеплодных композиций путем их измельчения, экстракции питательных веществ и отделения жомового остатка с помощью малогабаритного многооперационного стационарного дезинтеграционно-экстракционного устройства (ММ СДЭУ);

3) полученные экспериментально математические модели в виде адекватных уравнений регрессии, с помощью которых обоснованы оптимальные параметры предложенных технических средств блочно-модульного типа.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– полученные аналитические зависимости и выражения, позволяют на стадии проектирования процессов приготовления кормов и кормовых смесей в условиях малых ферм с помощью многооперационных технических средств блочно-модульного типа проводить технико-экономические и инженерные расчеты с целью оценки затратно-энергетической эффективности предложенных технологий, а также обоснованный выбор новых способов, параметров и режимов технических средств по приготовлению кормовых смесей, гранул и брикетов, а также ЗЦМ;

- обоснованы методологические подходы по рациональной компоновке и выбору технических средств блочно-модульного типа в системе механизированного кормления КРС, адаптированных к условиям малых ферм с режимами и параметрами, обеспечивающими им относительно высокую технико-экономическую эффективность функционирования;
- новые технологические и технические решения, защищенные патентами РФ на изобретения, могут быть использованы на малых предприятиях переработки сельскохозяйственной продукции;
- результаты внедрения предложенных способов и технических средств подтверждают их высокую эффективность при использовании на малых фермах.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования выполнены на основе принципов теории множеств и комбинаторики, теории вероятностей и матанализа, теоретической и прикладной механики.

Экспериментальные исследования реализовались с использованием метода планирования многофакторного эксперимента, физического и математического моделирования.

Данные подвергались обработке методами математической статистики на ПЭВМ («Statistika-7.0»).

Положения, вынесенные на защиту:

- модель оценки затратно-энергетической эффективности технологической системы механизированного кормления крупного рогатого скота, адаптированной к условиям малых ферм на стадии ее проектирования;
- теоретические зависимости и модели, характеризующие технологические процессы приготовления и раздачи кормов с использованием ММ МРПК, ММ СПГБ и ММ СДЭУ;
- параметры предложенных технических средств блочно-модульного типа, обоснованные посредством экспериментально полученных адекватных уравнений регрессии;
- научно обоснованная совокупность технических средств блочно-модульного типа и рациональных схем выполнения производственного процесса с их помощью по механизированному кормлению крупного рогатого скота в условиях малых ферм;

– результаты производственной проверки и технико-экономической оценки предложенной совокупности инновационных технологических и технических решений, разработанных и предложенных автором на уровне изобретений.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты получены на основе известных методов проведения исследований, современной измерительной и вычислительной техники. Их достоверность обусловлена сходимостью аналитических и эмпирических данных, а также достаточной степенью апробации инновационных технических средств блочно-модульного типа в производственных условиях.

Основные результаты исследований внедрены в ООО «Со-Тех», ООО «Симбирскоя», КФХ Шкурпет Александр Геннадьевич, КФХ Курникова Галина Николаева, ООО «МиСАгро», рассмотрены, обсуждены и получили положительные заключения на заседаниях экспертных комиссий по внедрению в АПК Амурской области научно-технических разработок и передового опыта Белогорского, Мазановского, Октябрьского, Свободненского и Серышевского муниципальных округов Амурской области с рекомендацией в производство, управлением ЕАО, ГНУ ДальЗНИВИ и др.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на тематических НПК ФГБОУ ВО ДальГАУ (г. Благовещенск, 2013, 2016, 2019, 2020, 2021 гг.), XVI региональной научно-практической конференции «Молодёжь XXI века: шаг в будущее» (г. Благовещенск, 14 мая 2015 г.), международной НПК «Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях (Волгоград, 2015), Российской национальной НК с международным участием (22 декабря 2017 г.). «Современные проблемы науки» (Благовещенск 2017), «Международной НПК профессорско-преподавательского состава, посвященной 155-летию РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева», (Москва 2020г.), всероссийской (национальной) научно-практической конференции «энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения», посвященной 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., проф. Бугову Х.У.(22-23 декабря Нальчик 2020 г.), 70 НПК евразийского научного объединения

«Итоги науки в теории и практике 2020» (24-25 декабря 2020 г. Москва), семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского» (20-21 января 2021 г. РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева Москва).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 81 работе, в том числе: в 5 статьях в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Scopus и Web of Science, в 32 статьях в рецензируемых изданиях по перечню ВАК Минобрнауки РФ, в двух монографиях, производственно-практическом справочнике и 28 патентах РФ на изобретения.

Общий объем публикаций составляет 30,0 п.л. из них личный вклад автора 28,5 п.л.

Структура и объем диссертационной работы. Структура диссертации включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Работа изложена на 349 страницах, в том числе содержит 65 таблиц, 90 иллюстраций, 10 приложений, список литературы, включающий 277 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Отражает актуальность выполненного исследования, его научную новизну и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе *«Состояние проблемы повышения эффективности работы системы механизированного кормления крупного рогатого скота в условиях предприятий малой производственной мощности»* рассмотрены исследования проведенные В.Р. Алешкиным, А.В. Бурмагой, А.И. Завражным, Б. Г. Зиганшиным, С.А. Ивановым, В.Г. Кобой, Ю.Б. Курковым, Г.М. Куктой, В.И. Курдюмовым, С.В. Мельниковым, В.В. Самуйло, У.К. Сабиевым, В.В. Садовым, Д.П. Сысоевым, В.Ю. Фроловым, Г.П. Юхиным и другими учёными по проблеме создания высокоэффективной технологической системы механизированного кормления животных. Приведена краткая характеристика кормовых продуктов для КРС с учетом их особенностей, а также способов их заготовки и подготовки к скармливанию. Проведен анализ существующих технологических линий по приготовлению и раздаче

кормовых продуктов на фермах КРС, а также приведена классификация существующих конструкций раздатчиков-смесителей кормов для ферм КРС. Приведены данные по их энергоемкости и металлоемкости. Проанализированы способы и технические средства приготовления кормовых продуктов прессовано-формованной структуры, на основе данных, характеризующих их энергоемкость и металлоемкость. Сделан анализ способов и технических средств приготовления кормовых продуктов в виде заменителей цельного молока (ЗЦМ) с учетом их энергоемкости и металлоемкости. Проведен обзор научных исследований процесса дозированной выдачи кормов мобильными бункерными раздатчиками, процессов смешивания и раздачи кормов на фермах КРС, обзор исследований по процессам получения прессовано-формованных комбикормов, а также ЗЦМ.

Установлено, что известные модели технических средств отечественного и зарубежного производства, предназначенные для измельчения кормового сырья, смешивания подготовленных компонентов, дозированной их раздачи КРС, а также приготовления прессовано-формованных кормов и ЗЦМ, обладают высокими энергоемкостью и металлоемкостью при низкой технологической гибкости и универсальности.

При этом, отсутствуют данные, характеризующие процессы:

- измельчения и равномерности распределения корма при заполнении бункера раздатчика-смесителя с помощью специального измельчающе-распределяющего устройства модульного исполнения;
- смешивания послойно уложенных компонентов в бункере при их дозированной выдаче раздатчиком;
- смешивания, измельчения и формования при получении прессованных гранул и полых брикетов с учетом особенностей состава и свойств кормового сырья с помощью пресса винтового типа;
- экстракции питательных веществ при измельчении соевых-тыквенных композиций в водной среде, отделения нерастворимого остатка – жома и получения на его основе кальцийсодержащей кормовой добавки с помощью дискового измельчителя-экстрактора и пресса с коническим винтом.

Отсутствуют также исследования по комплексному теоретическому обоснованию процессов, осуществляемых техническими средствами многооперационного назначения.

Отсутствие комплексных и обобщающих исследований по изучаемой проблеме не позволяет получить модель оценки затратно-энергетической эффективности функционирования системы механизированного кормления животных в условиях малых ферм КРС на стадиях ее проектирования и конструирования многооперационных малогабаритных технических средств блочно-модульного типа.

Выявленные в результате анализа противоречия между стремлением повысить затратно-энергетическую эффективность производства животноводческой продукции путем изыскания рациональных способов и технических средств, адаптированных к условиям малых ферм КРС с одной стороны и уровнем знаний о закономерностях указанных процессов, реализуемых в малогабаритных многооперационных технических средствах блочно-модульного типа, порождают проблемную ситуацию, на решение которой и направлена диссертационная работа.

Во второй главе *«Теоретическое обоснование технологии и параметров технических средств блочно-модульного типа для приготовления и раздачи кормов, адаптированных к условиям малых ферм КРС»* даны методологические подходы к разработке модели оценки затратно-энергетической эффективности (ЗЭЭ) ее функционирования на стадии проектирования ТТС, обоснована СМК животных в условиях малых ферм, как комбинированной (сходящейся-расходящейся) дискретной потоковой системы, а также теоретическое обоснование параметров технических средств..

Анализ системы, поставленной на исследование, проведенный по существующим на сегодняшний день данным, показывает, что ее можно представить в виде четырех взаимосвязанных подсистем (рисунок 1).

Данная система является управляемой с точки зрения доведения кормового сырья с исходной кормовой ценностью – $K_{цн}$ (к.е.) до конечной – $K_{цк}$ (к.е.) с трансформированным в пространстве и времени составом и свойствами.

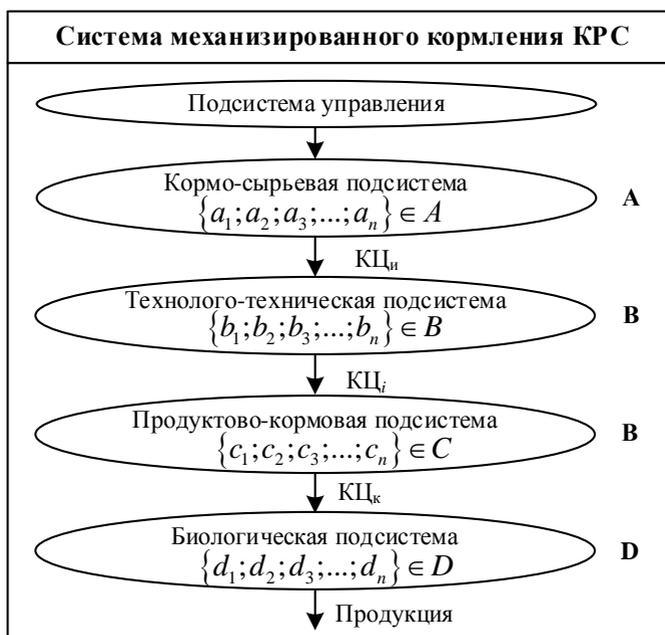


Рисунок 1 – Формализованная схема технологической трансформации (ТТ) сырья в системе МК КРС

Кормовая ценность, как комплексная характеристика состава и свойств исходного сырья и готовых кормовых продуктов, есть функция

$$КЦ = f(W; \lambda; \theta; П; СПС; К; \dots) \rightarrow opt, \quad (1)$$

где W – влажность, %; λ – степень измельчения, б/р; θ – однородность смеси, %; $П$ – прочность гранул и брикетов, %; $СПС$ – сахаропротеиновое соотношение; $К$ – содержание сухих веществ, %.

Для технологической трансформации КЦ имеем, что

$$КЦ_i = КЦ_u \cdot e^{-ct_{TP}}, \quad (2)$$

где $КЦ_i, КЦ_u$ – текущая и исходная кормовая ценность продуктов, к.е.; c – эмпирический коэффициент; t_{TP} – продолжительность ТТ, ч.

Для сырьевой подсистемы в системе МК КРС (рисунок 1) характерно использование объемистых и концентрированных кормов: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – соответственно сено (рассыпное, прессованное), солома (рассыпная, прессованная), зеленая масса

травы и зерновых культур (по видовому составу), силос, сенаж, корнеклубнеплоды, семена сои, семена зерновых культур.

Для технолого-технической подсистемы характерно наличие следующих технологических операций: $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – соответственно измельчение, смешивание, раздача, экстракция, разделение, дозирование.

Для продуктивно-кормовой подсистемы характерно получение: $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ – соответственно рассыпных кормовых смесей, гранулята, брикетов, паст, заменителя цельного молока, комбикормов.

Биологическая подсистема характеризуется структурой стада: d_1, d_2, d_3 – соответственно коровы (дойные, сухостойные), нетели (по возрасту), телята (по возрасту).

Таким образом, система МК КРС включает k комбинаций, равное 4 (рисунок 1) в виде подсистем А, В, С и D, каждая из которых содержит в себе n элементов в виде a_i, b_i, c_i, d_i .

При этом, процесс технологической трансформации исходного кормового сырья в пространстве и времени, при всех возможных вариациях, должен быть целесообразным и рациональным

$$\xrightarrow{Y_{\text{вх}}(t_{\text{ТР}})} [КС \rightarrow ТТС] \rightarrow КП \rightarrow БС, \quad (3)$$

где КС – кормовое сырье, характеризующееся исходной КЦ, к.е.; ТТС – технолого-техническая система, характеризующаяся технико-экономическими показателями; КП – кормовой продукт, характеризующийся конечной КЦ, к.е.; БС – биологическая система, характеризующаяся продуктивностью стада (кг) в соответствии с его структурой; $Y_{\text{вх}}(t_{\text{ТР}})$ – входные параметры системы МК КРС.

С точки зрения выбора рациональных вариантов функционирования системы МК КРС на малых фермах, с учетом композиционирования подсистем А, В, С и D, принята некоторая функция $F(x)$ вероятности выбора ее рационального варианта.

Функцию $F(x)$ в неявном виде представили как:

$$\Delta(P) = f(K_1; K_2, \dots, K_n; P, \dots) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где K_1, K_2, K_n - потенциально возможные варианты выбора технолого-технических решений, направленных на увеличение кормовой ценности, при минимально возможных затратах труда и средств;

P – вероятность выбора правильного решения (варианта).

Для определения вероятности выбора правильного решения (варианта) принят метод дерева логических возможностей, который предусматривает предварительное получение исходной информации, характеризующей особенности изучаемых и разрабатываемых технологий, а также информации, определяющей вероятностные характеристики изучаемых процессов и их номинальные (регламентируемые) значения показателей (критериев).

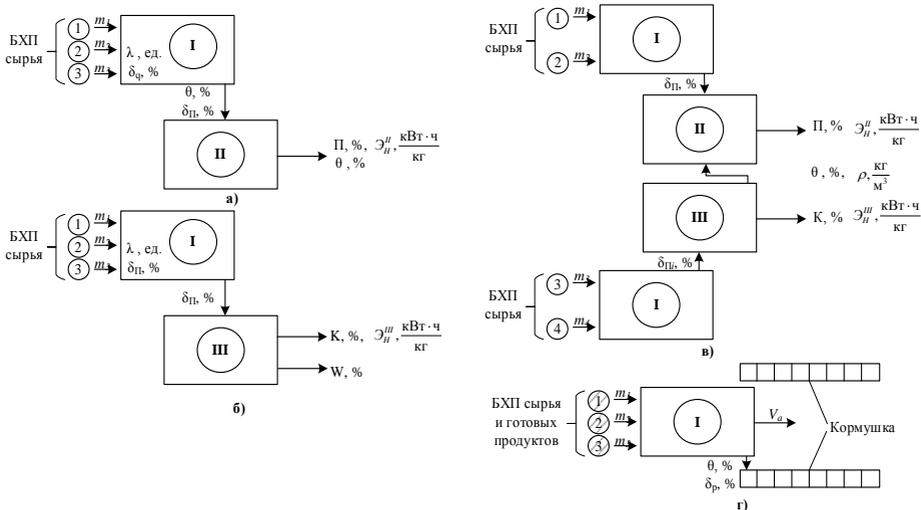
С учетом принятых подходов, для данной системы механизированного кормления КРС, принята следующая модель оценки затратно-энергетической эффективности ее функционирования на стадии проектирования:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_{Кр} &= \sum_{i=1}^n (C_{КП_i} - C_{ис_i} - C_{з_i}) \cdot Q_i \cdot t_i \cdot D \cdot k \rightarrow \max; \\ \text{при } \sum_{i=1}^n C_{з_i} &\rightarrow \min; \\ \mathcal{E}_И &= \frac{N_И}{Q_И \cdot \lambda_И \cdot n}; \quad \mathcal{E}_С = \frac{100 \cdot N_С}{Q_С \cdot \theta_С \cdot n}; \\ \mathcal{E}_{Пр} &= \frac{100 \cdot N_{Пр}}{Q_{Пр} \cdot \Pi \cdot n}; \quad \mathcal{E}_Э = \frac{100 \cdot N_Э}{Q_Э \cdot K \cdot n} \end{aligned} \right\} \rightarrow \min; \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_{Кр}$ – годовая экономическая эффективность (годовой доход) от производства кормовых продуктов, руб.; $C_{КП_i}$ – реализационная цена кормовых продуктов, руб./кг; $C_{ис_i}$ – стоимость исходного сырья, руб./ кг; $C_{з_i}$ – эксплуатационные затраты, руб.; Q_i – производительность i -й линии, кг/ч; t_i – продолжительность работы линии, ч; D – число дней работы машин и оборудования в году, дней; k – коэффициент, учитывающий налоговые отчисления; $Q_И, Q_С, Q_{Пр}, Q_Э, \mathcal{E}_И, \mathcal{E}_С, \mathcal{E}_{Пр}, \mathcal{E}_Э$ – производительность, соответственно, измельчителя, смесителя, пресса, экстрактора, кг/ч и их энергоемкость, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$; $N_И, N_С, N_{Пр}, N_Э$ – затраты энергии на процессы соответственно измельчения, смешивания, прессования, экстракции, кВт; $\lambda_И, \theta_С, \Pi, K$ – качественные показатели выполнения процессов, %, соответ-

ственно измельчения, смешивания, прессования и экстракции (степень измельчения, однородность смеси, прочность гранул или брикетов и содержание сухих веществ); n – количество операций, выполняемых одним техническим средством.

На рисунке 2 представлены рациональные варианты компоновки технических средств блочно-модульного исполнения, определённые в результате решения уравнения (4) по методу ДВЛ.



- а) линии приготовления гранул и брикетов; б) линии приготовления ЗЦМ;
- в) линии приготовления ЗЦМ, гранул и брикетов; г) линии приготовления смесей, раздачи кормов и внесения подстилки

Рисунок 2 – Структурно-компоновочные схемы линии приготовления и раздачи кормов на малой ферме КРС

Для эффективного функционирования технологической подсистемы подготовки, приготовления и раздачи кормов предложен мобильный раздатчик-питатель кормовых продуктов, который характеризуется тем, что он выполняет самозагрузку в режиме периодической (циклической) подачи порции сено-соломистого, корнеплодного и другого сырья в местах его складирования, подачи данной порции в измельчитель, измельчение и распределение измельченного продукта в бункере измельчающе-распределяющим устройством (ИРУ). При этом, распределение продукта может осуществляться по двум различным схемам (рисунок 3): наклонными и

горизонтальными слоями, при возвратно-поступательном режиме формирования слоев, позволяющим выровнять колебания массы – q входного потока $Q(t)$, описываемого параметрами случайной (корреляционной) функции $q(l)$, где l – длина кормового потока.

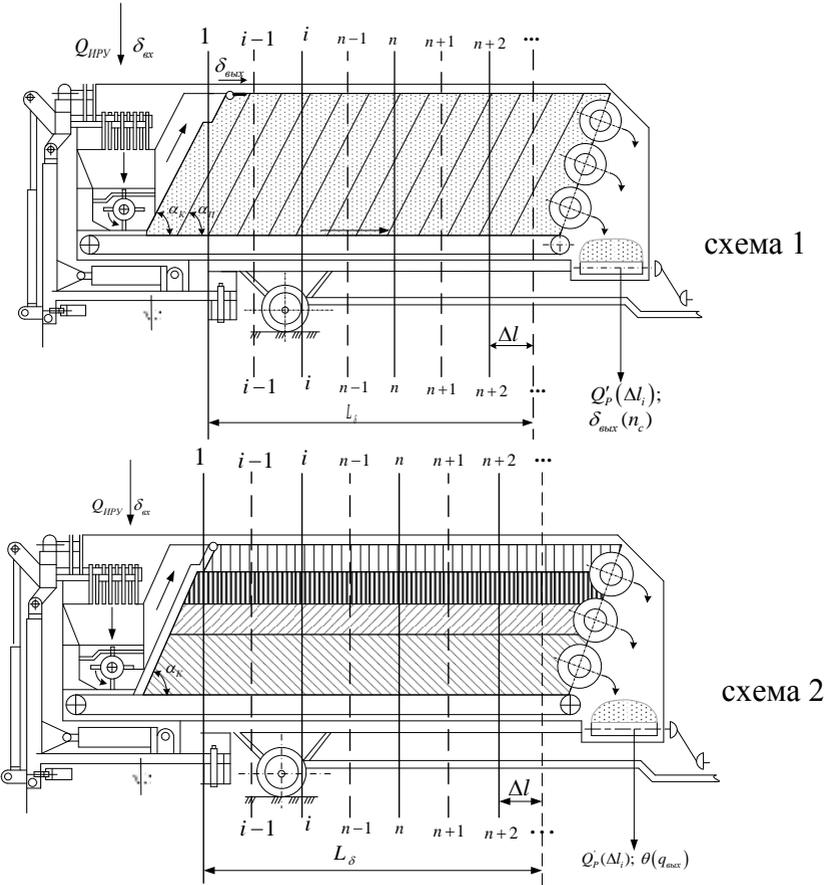


схема 1 – наклонными слоями; схема 2 – горизонтальными слоями, при возвратно-поступательном режиме формирования слоев

Рисунок 3 – К обоснованию рациональных схем и способов заполнения бункера ММ МРПК

Для принятых схем заполнения бункера ММ МРПК получена зависимость

$$\delta_{\text{вых}} = \left[4 \cdot \sigma_{\alpha x j}^2 \right]^{0.5} / n_c^2 \cdot L_0 \leq [\delta_{\text{п}}], \tag{6}$$

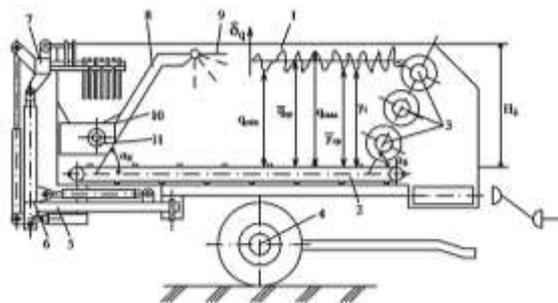
где σ_{axj}^2 – дисперсия массы загружаемого продукта в i -м сечении бункера ММ МРПК j – слоя длиной – L_{σ} (рисунок 3), м; n_c – количество формируемых слоев; L_{σ} – длина бункера, м; $[\delta_{п}]$ – допускаемый по требованиям показатель неравномерности заполнения бункера ММ МРПК, %.

С учетом дисперсии по колебаниям качественного и количественного состава кормовых компонентов получена модель, характеризующая однородность получаемой смеси – θ_c

$$\theta_c = \left\{ n_c^{-2} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sigma_{q_{ax}}^2 \right]^{0,5} \right\} \cdot q_{вых}^{-1} \leq [\theta_c], \quad (7)$$

где $\sigma_{q_{ax}}^2$ – дисперсия колебаний входного потока, $кг^2/с^2$; $q_{вых}$ – секундная подача ММ МРПК, $кг/с$; $[\theta_c]$ – допускаемое значение однородности смеси по зоотехническим требованиям, равное 85 %.

В связи с необходимостью разработки ММ МРПК для условий малых ферм КРС перед нами встала задача создания универсального измельчающего аппарата, позволяющего измельчать и равномерно распределять по объему его бункера грубые корма, силос, тыкву или корнеплоды. Поисковыми исследованиями установлено, что наиболее полно поставленным требованиям отвечает измельчающий аппарат молоткового типа с шарнирно закрепленными Н-образными молотками. Наряду с процессом измельчения различных видов кормов, он обеспечивает и равномерное распределение измельченного корма в бункере ММ МРПК (рисунки 4, 5).



- 1 – бункер;
- 2 – подающий транспортер;
- 3 – битера;
- 4 – ходовая часть;
- 5 – рама;
- 6 – манипулятор;
- 7 – захват;
- 8 – кормопровод;
- 9 – распределяющий козырек;
- 10 – измельчитель;
- 11 – ротор.

Рисунок 4 – К обоснованию параметров ММ МРПК

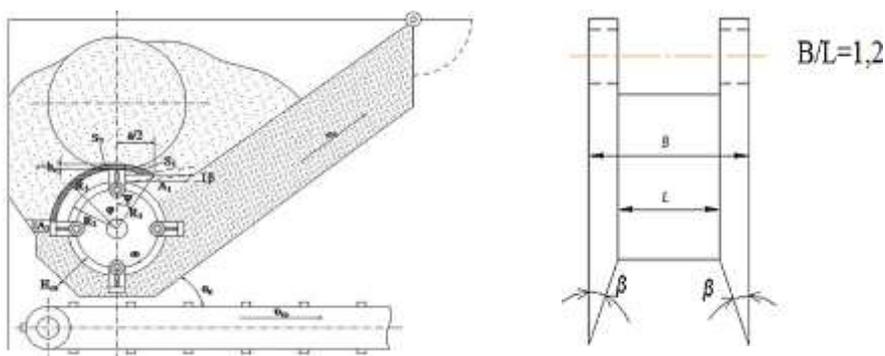


Рисунок 5 – Расчетная схема измельчающе-распределяющего устройства (ИРУ) с конструкцией Н-образного молотка-лопасти

Измельчающий аппарат данного типа разработан для использования в конструкции ММ МРПК. С целью получения выражений для расчета производительности и мощности, обеспечивающей процесс работы измельчающего аппарата молоткового типа с шарнирно подвешенными Н-образными молотками, одновременно выполняющими и роль лопастей для распределения частиц корма в бункере, проведено исследование движения частицы корма, находящейся на поверхности шарнирного молотка в соответствии с известными методологическими подходами.

В результате теоретических исследований получена зависимость, характеризующая производительность ИРУ

$$Q_{ИРУ} = 9,6(L_p - \Delta Z_{pl})R_z \cdot \omega \cdot \rho \cdot S_i, \quad (8)$$

где L_p – длина ротора, м; R_z – число молотков, идущих по одному следу; ω – угловая скорость ротора, c^{-1} ; ρ_n – плотность кормового продукта, $кг/м^3$; S_i – суммарная площадь, по которой воздействуют молотки, $м^2$.

Анализ формулы (8) показывает, что производительность ИРУ можно регулировать за счёт изменения угловой скорости его ротора.

При возрастании угловой скорости ротора от $150 c^{-1}$ до $210 c^{-1}$ производительность возрастает с $1,5 кг/с$ до $4 кг/с$ (тыква), с $2,2 кг/с$ до $6,2 кг/с$ (овсяная солома) и с $2,9 кг/с$ до $7,7 кг/с$ (силос).

Степень измельчения определяется по установленной зависимости

$$\lambda = 1,27 \sum_{i=1}^m S_i (Z_{pi} - \Delta Z_{pi}) \psi_c / \sum_{j=1}^{R_c} l_j d_y^2 < [\lambda], \quad (9)$$

где S_i – площадь поперечного сечения исходного кормового сырья, m^2 согласно рисунку 5; Z_{pi} – зазор между пластинами ограничительной решетки ИРУ ММ МРПК, м; ΔZ_{pi} – размер пластины ограничительной решетки по ее ширине, м; ψ_c – коэффициент плотности укладки сырья в зоне ограниченной – S_i ; R_c – число частиц сырья; l_j – размер частиц сырья, м; d_y – параметр, характеризующий размер частиц сырья, м; $[\lambda]$ – требуемая степень дезинтеграции сырья.

Анализ зависимости (9) показывает, что степень измельчения повышается с увеличением угловой скорости ротора.

На основе принципа равенства работ, с учетом степени измельчения, получена формула для определения диаметра ротора:

$$D = \frac{C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)}{\psi L_p \cdot (1 + f_{cl}) v_{омн}^2}, \quad (10)$$

где C_1 , C_2 , ψ , f_{cl} – эмпирические коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов, Дж/кг; L_p – длина ротора, м; $v_{омн}$ – скорость движения молотков относительно циркулирующего слоя, м/с.

Длину ротора определили с учетом коэффициента – $R_{изм}$, характеризующего выход готового продукта с одного квадратного метра площади диаметрального сечения измельчающей камеры – кг/(с·м²)

$$L_p = 9,6 (L_p - \Delta Z_{pi}) R_m \cdot \omega \cdot \rho \cdot S_i / R_{изм} \cdot D, \quad (11)$$

Параметр $R_{изм}$ зависит от высоты циркулирующего слоя продукта H_{cl} , м, его плотности – ρ , кг/м³ и концентрации продукта в слое – γ_u , кг/кг ($R_{изм} = 0,5-0,8$).

Кратность циркуляции воздушно-продуктового слоя в камере ИРУ равна

$$K_p = 0,318 M_u \cdot v_{cl} / Q_{ИРУ} \cdot D, \quad (12)$$

где M_u – масса воздушно-продуктового слоя, высотой H_{cl} , кг.

Мощность, на процесс отделения массы кормового продукта молотками ИРУ, определяется по формуле

$$N_u = 9,6(L_p - \Delta Z_{pi})R_m \cdot \omega \cdot \rho \cdot S_i \cdot A_{изм}, \quad (13)$$

где $A_{изм}$ – работа измельчения, определяемая по формуле Мельникова С.В. с учетом выражения (9).

Мощность на циркуляцию воздушно-продуктового слоя определяется как

$$N_u = R_{ep} (1 + K_u \gamma_u) v_m^3, \quad (14)$$

где R_{ep} – эмпирический коэффициент, учитывающий конструкцию и режим работы ИРУ; v_m – скорость движения молотка-лопасти, м/с.

С учетом полного расхода энергии, его энергоёмкость составит

$$\mathcal{E}_{ИРУ} = 1,2 \cdot (N_{изм} + N_u) / Q_{ИРУ} \cdot \lambda, \quad (15)$$

Анализ полученных зависимостей (14) и (15) показывает, что с увеличением производительности затраты энергии возрастают, а энергоёмкость снижается для всех видов кормов, что обусловлено их плотностью.

С учетом принятых подходов получена модель оценки неравномерности распределения высоты кормового монолита по длине бункера ММ МРПК

$$\delta_n = \pm 100 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{cp})^2 / n - 1} / Q_{ИРУ}, \quad (16)$$

где n – число участков по длине бункера; H_i, H_{cp} – значения высоты формируемого монолита по длине бункера, м.

Таким образом, проведенным анализом, с использованием инновационных методологических подходов, получены аналитические модели, дающие оценки по энергетическим и качественным показателям работы ММ МРПК, учитывающие его конструктивные и режимные параметры. Расчеты, проведенные с использованием данной зависимости, показали, что неравномерность распределения $\delta_n \leq \pm 5,0$ %, что соответствует требованиям.

При обосновании параметров и режимов работы прессгранулятора-брикетировщика блочно-модульного типа использованы подходы, в результате которых получена зависимость, характеризующая прочность гранул и полых брикетов. В частности, принято предположение, что скорость ее прироста пропорциональна до-

стигнутому уровню, т.е. относительная скорость прироста прочности в формирующей матрице постоянна.

С учетом последующих математических подходов и преобразований получена модель, характеризующая прочность влажного формованного продукта:

$$\Pi = \frac{K}{1 + \gamma \cdot e^{-K \cdot kt}} \geq [\Pi], \quad (17)$$

где K – максимально возможное значение показателя прочности, $K = 100$ %; γ , k – эмпирические коэффициенты; t – продолжительность формования продукта, с; $[\Pi]$ – допустимое по требованиям значение показателя прочности влажных гранул и брикетов, %.

Для гранул и брикетов, подвергнутых сушке, получена следующая зависимость

$$\Pi = K / \left\{ 1 + \gamma \cdot e^{-K \cdot kt \cdot Q_c / G \left[\frac{100 - W_n}{100} \right]} \right\} \geq [\Pi], \quad (18)$$

где Q_c – производительность сушилки, кг/с; W_n – начальная влажность сформованного продукта в виде гранул или брикетов, %.

На рисунке 6 представлена схема к расчету параметров ММ СПГБ, пропускная способность $Q_{СП}$ которого, в значительной степени зависит от времени усреднения влаги между компонентами смеси – t_y .

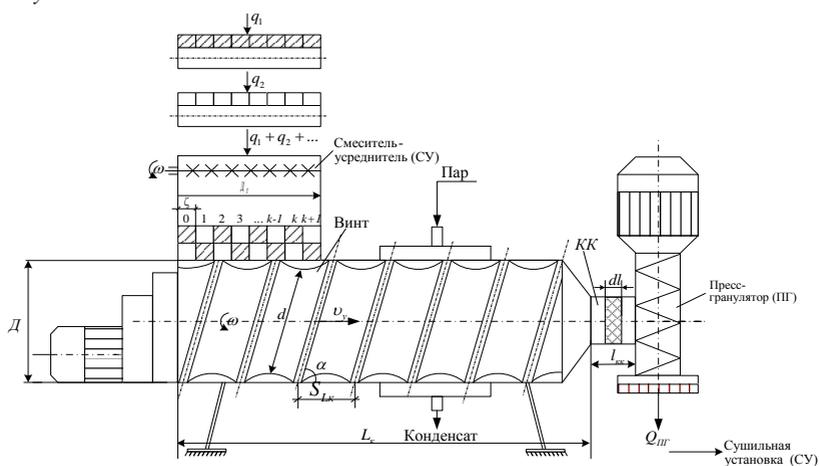


Рисунок 6 – Схема к расчету параметров пресс-гранулятора:

КК – компрессионно-формирующий узел ММ СПГБ

Зависимость, характеризующую параметр времени усредне-

ния влажности между компонентами смеси, установили путем анализа процесса трансформации среднеквадратических отклонений влажности при ее перераспределении с определенной степенью вероятности, определяемой массовым соотношением компонентов в смеси

$$t_y = t_1 + \Delta t \cdot \ln Z_1 \cdot [\ln Z_2]^{-1}, \quad (19)$$

где t_1 – время, принятое для начала отсчета, с; Δt – время экспозиции; Z_1 и Z_2 – подлогарифмические составляющие, развернутый вид которых представлен в диссертации.

С учетом данного параметра, пропускная способность ММ СПГБ определяется как

$$Q_{СП} = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \cdot S_{L_k} \cdot K \cdot \operatorname{tg} \alpha / \left\{ t_1 + \Delta t \cdot \ln Z_1 \cdot [\ln Z_2]^{-1} \right\}, \quad (20)$$

где K – количество витков на длине винта – L_k , согласно рисунку 6.

Затраты энергии на уплотнение и формование продукта определяются по формуле

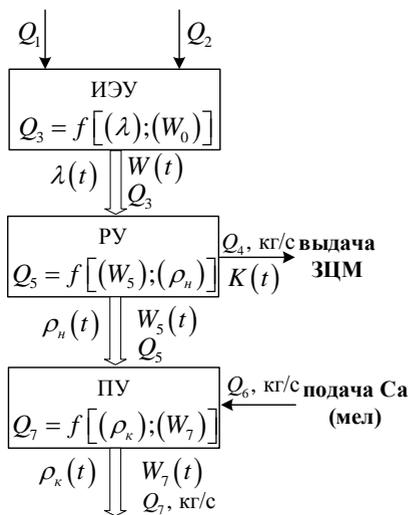
$$N_{\text{упл}} = 0,125 \cdot d_0^2 \cdot Z_0 \cdot h \cdot \rho \cdot \omega_{ПВ} \cdot v_{КК}^2, \quad (21)$$

где d_0 – диаметр отверстий матрицы-решетки или сопла, м; Z_0 – количество отверстий; h – длина отверстия (канала), м; ρ – плотность продукта, кг/м³; $\omega_{ПВ}$ – угловая скорость винта, с⁻¹; $v_{КК}$ – скорость движения продукта в компрессионной камере, м/с.

Соотношение показателей (21) и (20) дает значение показателя энергоемкости. Расчеты, проведенные с использованием данных зависимостей, показали, что энергоёмкость прессы при производительности 200-300 кг/ч составляет не более 4,0 кВт·ч/кг.

Получение ЗЦМ и КБКД на основе семян сои с использованием экстрагента (воды, обраты, сыворотки или пахты) в системе МК телят обеспечивается с помощью ММ СДЭУ (рисунок 7).

Процесс измельчения зерна сои и частиц тыквы или корнеплодов, размером D_0 рассмотрели, представляющим собой явление, при котором из исходных набухших частиц, путем последовательного разрушения образуется какое-то количество частиц, например – $K = 2$, которое в свою очередь также разрушается на m частиц, с их количеством равным $K = 2^m$ и т.д. Данный процесс осуществляется с помощью устройства (рисунок 8).



ИЭУ – измельчающе-экстракционный узел;
 РУ – разделяющий узел;
 ПУ – прессующий узел;
 Q_1 – подача экстрагента (вода, обрат, сыворотка или пахта);
 Q_2 – подача семян сои и частиц корнеплодов;
 $Q_3 = Q_1 + Q_2$ – подача РУ по суспензии;
 Q_4 – пропускная способность РУ по жидкой фракции;
 Q_5 – пропускная способность РУ по нерастворимому соево-корнеплодному остатку (НСКО);
 Q_6 – подача кальцийсодержащего компонента;
 Q_7 – подача конического ПУ;
 λ – степень измельчения;
 ρ_n и ρ_k – начальная и конечная плотность, W_0 , W_5 , W_7 – влажность;
 $K(t)$ – содержание сухих веществ (их концентрация)

Рисунок 7 – Структурно-функциональная схема получения ЗЦМ и КБКД с помощью ММ СДЭУ

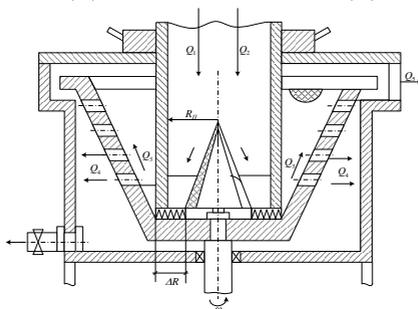


Рисунок 8 – Схема к обоснованию параметров измельчающего узла ММ СДЭУ

В результате данного подхода, а также с позиций диффузионного явления, получена зависимость, характеризующая процесс извлечения питательных веществ из соево-тыквенной композиции в жидкую среду

$$K = K_0 \cdot e^{-t_3 \cdot \left\{ \frac{\ln\left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \epsilon^{(1-\epsilon)}}{\ln\left[\frac{(M-\epsilon) \cdot l}{(M-l) \cdot \epsilon}\right]} \right\}}, \quad (22)$$

где K – показатель концентрации питательных веществ в экстрагенте (вода, сыворотка, пахта и т.д.), %; t_3 – время экстракции, равное времени измельчения – t_{ub} , с; λ – степень измельчения сырья, б/р;

ξ – эмпирический коэффициент; M – содержание питательных веществ в композиции, %; l, v – начальное содержание питательных веществ (белков, жиров и т.д.), %.

Зависимости для определения параметров t_3 и t_u, λ , а также Q_5, Q_7 и N_7 приведены в диссертации. Данные показатели связаны с показателями, характеризующими начальные и конечные размеры семян сои и частиц тыхвы.

Для определения пропускной способности ММ СДЭУ по пульпе, установлена следующая зависимость

$$Q_3 = \frac{\pi(4,19 \cdot r_u^3) \cdot (R_T^2 - R_K^2) \cdot \rho \cdot k}{\ln(\lambda^{-1})}, \quad (23)$$

где k – коэффициент, имеющий размерность рад/с; r_u – радиус частицы, полученной после разрушения сырья, м; R_T и R_K – радиусы по внутренней и внешней окружностям истирающей поверхности диска, м; ρ – плотность пульпы, кг/м³.

Анализ, полученного в результате принятых подходов, выражения (23) показывает, что пропускная способность ММ СДЭУ зависит от конечных размеров получаемых частиц – r_u , характеризуемых заданной степенью измельчения соевого зерна $[\lambda]$, а также от конструктивных параметров измельчающего диска, а конкретно от разности $(R_T - R_K) = \Delta R$ (рисунок 8).

Затраты энергии (мощность) на осуществление процесса измельчения и экстракции определили с учетом удельной работы измельчения – $A_{уд}$ (Дж/кг), согласно формуле профессора Мельникова С.В., которая с учетом вышеприведенных подходов в развернутой форме имеет вид

$$N_3 = C_{np} \left\{ C_V \lg \left[\frac{(4,19 \cdot a \cdot v^2)^{0,33}}{(4,19 \cdot r_u^3)^{0,33}} \right]^3 + C_S \left\{ \left[\frac{(4,19 \cdot a \cdot v^2)^{0,33}}{(4,19 \cdot r_u^3)^{0,33}} - 1 \right] \right\} \right\} \cdot Q_{us} \quad (24)$$

где C_{np} – безразмерный коэффициент, находящийся в пределах 0,9 – 5,0 в зависимости от влажности соевого зерна; C_V и C_S – размерные коэффициенты, определяющие работу упругих деформаций, отнесенную к единице массы продукта, а также затрачиваемую на образование новых поверхностей при измельчении, отнесенную к единице массы продукта, $C_V = 0,23 - 10,7$ кДж/кг и $C_S = 2,3 - 3,66$ кДж/кг; a, v – размеры семени сои, принятой за эллипсоид, м.

В диссертации приведены зависимости по определению Q_4 – Q_7 , а также N_5 и N_7 , согласно рисунку 7.

В третьей главе «Программа, методика, результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены программа, объекты и методы исследований, а также перечень и общий вид оборудования, использованного при исследованиях.

Для достижения поставленной цели, программой проводимых экспериментальных исследований решались следующие вопросы: определялись физико-механические свойства и показатели кормового сырья, подлежащего обработке, переработке и раздаче; проводилось изыскание рациональных схем компоновок технических средств, обеспечивающих эффективное выполнение необходимых операций в соответствии с зоотехническими требованиями; выявлялось влияние технологических и конструктивно-режимных параметров ММ МПРК на показатели его работы и энергоемкость; исследовалось влияние технологических и конструктивно-режимных параметров на качественные показатели работы и энергоемкость процессов, осуществляемых ММ СПГБ в режимах получения влажных и сушеных гранул и полых брикетов; выявлялось влияние технологических и конструктивно-режимных параметров на качественные показатели и энергоемкость процессов, реализуемых с помощью ММ СДЭУ на приготовлении заменителя цельного молока и кормовой белково-кальциевой добавки; посредством известных методов обрабатывались полученные экспериментальные данные с установлением оптимальных значений параметров принятых на исследование процессов, которые реализовались предложенными техническими средствами.

Устанавливалась степень сходимости по теоретическим и экспериментальным данным.

Для проведения экспериментальных исследований использовалось частное технологическое оборудование, на котором имелась возможность варьирования исследуемыми факторами в необходимых пределах.

В ходе экспериментальных исследований определены физико-механические свойства кормов, значения которых приведены в диссертации.

Согласно зоотехническим требованиям, кормовые продукты (солома, бахчевые культуры, силос и др.) должны быть измельчены до определенных размеров, обеспечивающих их качественное смешивание, дозирование и т.д.

Первый этап исследований предусматривал изучение процесса измельчения кормовых компонентов (солома, корнеплоды и т.д.), путем установления количественных и качественных характеристик измельченного продукта, в зависимости от конструктивно-режимных параметров ИРУ.

Из факторов, влияющих на технологический процесс измельчения кормов, особое значение имеют угловая скорость ротора и вылет молотков над верхней плоскостью ограничительной решетки измельчителя.

В диссертации представлены зависимости средневзвешенного размера l_{cp} частиц и производительности $Q_{ИРУ}$, в зависимости от угловой скорости ротора измельчителя – ω и вылета молотков – h для овсяной соломы $W = 15,3 \%$.

Аналогичные исследования проведены на овсяной соломе, силосе и тыкве по влиянию параметров ω и h на производительность $Q_{ИРУ}$ и степень измельчения. Результаты исследований приведены на рисунках 9 и 10.

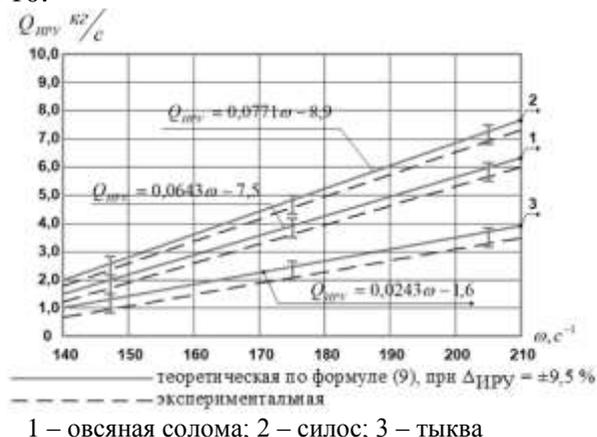
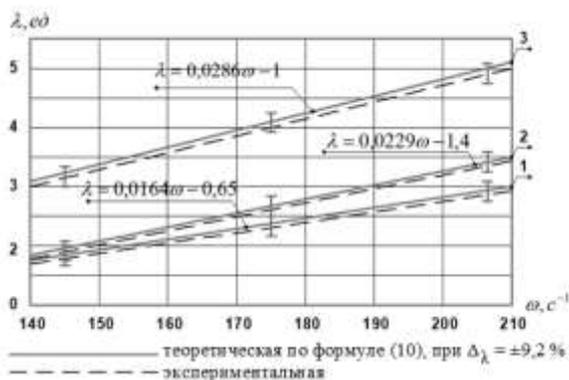


Рисунок 9 – Зависимости производительности ИРУ от угловой скорости ротора



1 – овсяная солома; 2 – силос; 3 – тыква

Рисунок 10 – Зависимости степени измельчения от угловой скорости ротора

Как показали проведенные исследования (рисунок 10) с увеличением угловой скорости ротора с 150 с^{-1} до 210 с^{-1} возрастает и производительность для всех исследуемых видов корма: овсяная солома с $2,18 \text{ кг/с}$ до $6,2 \text{ кг/с}$, силос с $2,9 \text{ кг/с}$ до $7,7 \text{ кг/с}$ и тыква с $1,5 \text{ кг/с}$ до 4 кг/с .

С целью определения влияния угловой скорости ротора на степень измельчения – λ проведены экспериментальные исследования, результаты по которым представлены на рисунке 10.

Исследованиями установлено, что с увеличением угловой скорости ротора степень измельчения повышается. Так, при повышении угловой скорости ротора с 150 с^{-1} до 210 с^{-1} степень измельчения увеличивается: для овсяной соломы с $1,5$ до 3 , силоса с $1,8$ до $3,5$ и тыквы с $3,0$ до $5,2$.

При этом, результаты теоретических и экспериментальных исследований находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проведенных исследований ($\Delta_{\text{ДРУ}} = \pm 9,5\%$ и $\Delta_{\lambda} = \pm 9,2\%$, рисунки 9 и 10).

При измельчении и распределении однокомпонентных кормов в бункере, на высоту поперечных сечений слоя корма, а следовательно, профиль продольных и поперечных сечений кормового монолита, существенное влияние оказывает угол подъема поворотного козырька по отношению к днищу бункера ММ МРПК.

Определение профилей продольных и поперечных сечений кормового монолита проводилось при углах подъема козырька 0° ; $7,5^\circ$; 15° ; $22,5^\circ$. Угловая скорость ротора и вылет молотков при различных углах подъема принимались постоянными. При экспериментальных исследованиях измерялась высота кормового монолита в контрольных точках и проводилось взвешивание корма, выгружаемого с каждого из соответствующих участков. Результаты приведены в диссертации.

Путем проведения теоретических исследований и поисковых опытов было установлено, что основными факторами, влияющими на неравномерность распределения корма и качество смешивания, являются угловая скорость ротора, вылет молотков и частота колебаний поворотного козырька.

Для принятого режима загрузки ММ МРПК, в качестве значимых факторов выделены следующие: X_1/ω , с^{-1} – угловая скорость ротора с молотками; X_2/h_m , мм – вылет молотков ротора над плоскостью решетки; X_3/z , шт. – количество молотков, проходящих по одному следу.

В качестве оценочных показателей приняты следующие критерии: Y_1/δ'_3 , % – неравномерность заполнения бункера ММ МРПК по его длине, учитывающей колебания высоты и плотность продукта; Y_2/λ' , % – степень измельчения сырьевого компонента; Y_3/N'_3 , кВт·с/кг – энергоемкость процесса измельчения и распределения с помощью ИРУ.

После обработки данных получены математические модели, характеризующие процесс заполнения бункера ММ МРПК:

– наклонными слоями:

$$\delta'_3 = 71,39 - 0,56 \cdot \omega - 0,89 \cdot h_m - 2,33 \cdot z - 0,01 \cdot \omega \cdot z + 0,001 \cdot \omega^2 + 0,02 \cdot h_m^2 - 0,91 \cdot z^2 \rightarrow opt; \quad (25)$$

$$\lambda' = -59,76 + 0,66 \cdot \omega + 3,0 \cdot h_m - 5,88 \cdot z - 0,003 \cdot \omega \cdot h_m + 0,06 \cdot \omega \cdot z - 0,002 \cdot \omega^2 - 0,06 \cdot h_m^2 - 1,25 \cdot z^2 \rightarrow opt; \quad (26)$$

$$N'_3 = 8,28 - 0,004 \cdot \omega - 0,41 \cdot h_m - 0,44 \cdot z + 0,0008 \cdot \omega \cdot z + 0,01 \cdot h_m^2 + 0,06 \cdot z^2 \rightarrow opt; \quad (27)$$

– горизонтальными слоями:

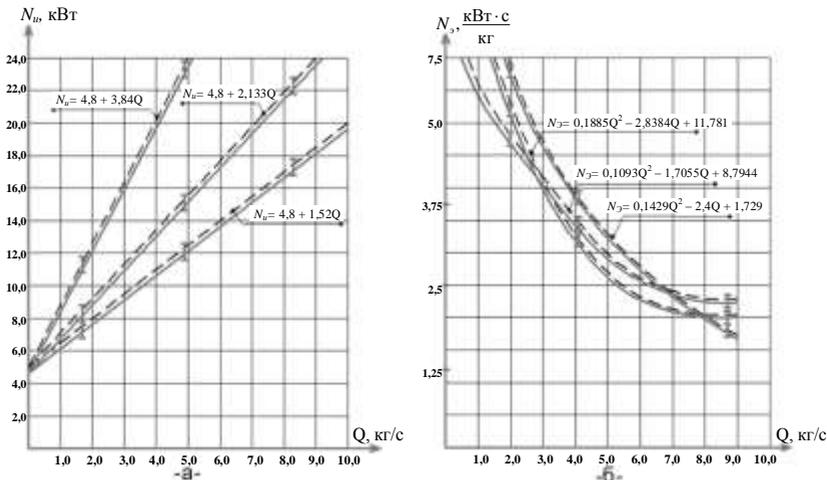
$$\delta_3'' = 142,18 - 0,95 \cdot \omega - 6,26 \cdot h_M + 16,06 \cdot z - 0,003 \cdot \omega \cdot h_M - 0,01 \cdot \omega \cdot z - 0,11 \cdot h_M \cdot z + 0,003 \cdot \omega^2 + 0,18 \cdot h_M^2 - 1,93 \cdot z^2 \rightarrow opt; \quad (28)$$

$$\lambda'' = -74,95 + 0,33 \cdot \omega + 4,94 \cdot h_M + 10,84 \cdot z + 0,001 \cdot \omega \cdot h_M - 0,16 \cdot h_M \cdot z - 0,0009 \cdot \omega^2 + 0,12 \cdot h_M^2 - 1,13 \cdot z^2 \rightarrow opt; \quad (29)$$

$$N_3'' = 31,0 - 0,14 \cdot \omega - 1,09 \cdot h_M - 1,87 \cdot z - 0,0007 \cdot \omega \cdot h_M + 0,002 \cdot \omega \cdot z - 0,03 \cdot h_M \cdot z + 0,0004 \cdot \omega^2 + 0,03 \cdot h_M^2 + 0,35 \cdot z^2 \rightarrow opt \quad (30)$$

Адекватность полученных моделей подтверждается неравенством $F_R > F_T$.

С целью проверки зависимости мощности – N_u и энергоемкости N_3 от производительности ИРУ – $Q_{ИРУ}$ проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены на рисунке 11.



1 – овсяная солома; 2 – силос; 3 – тыква, формулы (14) и (16)

Рисунок 11 – Зависимость мощности (N_u) – а, и энергоемкости (N_3) – б, от производительности ИРУ ($Q_{ИРУ}$)

Как показали проведенные исследования (рисунок 11а) с увеличением производительности возрастает и мощность измельчителя-распределителя. Изменение мощности носит линейный характер для всех исследуемых видов корма (овсяная солома; силос и тыква). Если сравнивать величину мощности при одинаковой производительности 5 кг/с, то она составляет для тыквы – 24 кВт, силоса –

13,5 кВт и овсяной соломы – 10 кВт. В то же время, если проанализировать изменение энергоёмкости от производительности (рисунков 11б), то с увеличением производительности энергоёмкость снижается для всех исследуемых видов корма с 24 кВт·с/кг до 9 кВт·с/кг у соломы, 8 кВт·с/кг у тыквы и 7 кВт·с/кг у силоса при снижении величины производительности до 9 кг/с.

В результате проведенных исследований, установлено, что полученные теоретические и экспериментальные значения находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проведенных исследований

Из факторов, влияющих на технологический процесс распределения массы корма, также особое значение имеют угловая скорость ротора и вылет молотков над верхней плоскостью ограничительной решетки и частота колебаний козырька. В качестве критериев оптимизации выбраны: $Y_4 - \mathcal{E}_N$ – энергоёмкость, кВт·с/кг; $Y_5 - \delta_q$ – неравномерность распределения массы корма в бункере, %.

После обработки данных получены математические модели, характеризующие зависимость энергоёмкости – N_3 и неравномерности распределения корма в бункере δ_q от конструктивных параметров ИРУ

$$\mathcal{E}_N = 19,23 - 0,199\omega + 0,031h - 0,017n_3 + 5,8 \cdot 10^{-3} \omega^2 + 2,35 \cdot 10^{-3} n_3^2 \rightarrow \min; \quad (31)$$

$$\delta_q = 452,07 - 4,40\omega - 1,34h - 0,06n_k + 6,56 \cdot 10^{-2} \omega h + 0,011\omega^2 \rightarrow \min \quad (32)$$

В результате исследований установлено, что оптимальными параметрами являются: угловая скорость ротора $\omega = 192,2 \text{ с}^{-1}$, вылет молотков $h = 7,9 \text{ мм}$, частота колебаний поворотного козырька $n_3 = 61 \text{ мин}^{-1}$. При этих параметрах неравномерность распределения соломы в бункере составляла $\delta_{cp}^{col} = 3,47 \%$ и силоса $\delta_{cp}^{sil} = 4,22 \% < 5\%$. Таким образом, были достигнуты качественные показатели измельчения и распределения корма, удовлетворяющие зоотехническим требованиям.

В диссертации представлены зависимости неравномерности выдачи корма δ_p ММ МРПК от числа колебаний поворотного ко-

зырька n_3 при формировании кормового монолита наклонными слоями.

С целью определения степени влияния производительности пресса на мощность, затрачиваемую на прессование и энергоёмкость, проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены на рисунке 12. Согласно полученным результатам с повышением производительности пресса мощность, затрачиваемая на прессование, возрастает, но при этом снижается величина энергоёмкости. Результаты теоретических и экспериментальных исследований находятся в пределах доверительного интервала.

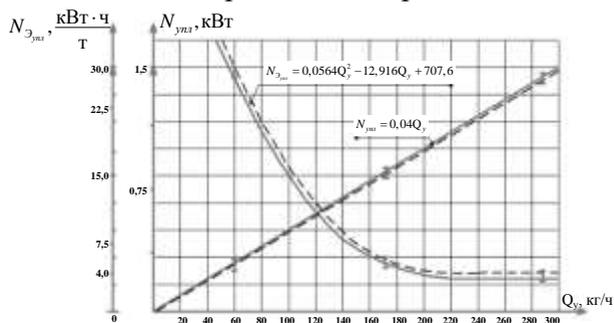


Рисунок 12 – Зависимости мощности, затрачиваемой на прессование $N_{упл}$ и энергоёмкости от производительности пресса $Q_{упл}$

При проведении эксперимента по изучению процесса приготовления прессовано-формованных продуктов в виде полых брикетов, на первом этапе, в качестве значимых факторов выделены следующие: X_1/ω , c^{-1} – угловая скорость винта пресса; X_2/d_0 , мм – диаметр продольного канала в брикете; X_3/γ , ед. – соотношение компонентов (солома : тыква).

В качестве критериев оптимизации приняты: Y_6/θ , % – однородность композиции в брикетах; Y_7/ρ , $кг/м^3$ – плотность влажных брикетов; $Y_8/N_{эу}$, $Вт·ч/кг$ – энергоёмкость получения влажных брикетов.

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены математические модели, характеризующие процесс приготовления ПФП:

$$\theta = -105,37 + 24,71 \cdot \omega_g + 60,72 \cdot d_0 + 29,47 \cdot \gamma - 1,19 \cdot \omega_g \cdot d_0 - 5,75 \cdot d_0 \cdot \gamma - 1,07 \cdot \omega_g^2 - 10,86 \cdot d_0^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (33)$$

$$\rho = -371,06 + 207,09 \cdot \omega_g + 379,07 \cdot d_0 - 107,63 \cdot \gamma - 2,94 \cdot \omega_g \cdot d_0 + 9,62 \cdot \omega_g \cdot \gamma - 8,25 \cdot d_0 \cdot \gamma - 10,91 \cdot \omega_g^2 - 85,11 \cdot d_0^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (34)$$

$$N_{\text{ЭВ}} = 176,65 - 22,58 \cdot \omega_g - 18,1 \cdot d_0 - 8,71 \cdot \gamma - 0,25 \cdot \omega_g \cdot \gamma + 1,10 \cdot \omega_g^2 + 5,09 \cdot d_0^2 + 5,65 \cdot \gamma^2 \rightarrow \text{opt}. \quad (35)$$

Адекватность полученных моделей подтверждается классическим способом.

На втором этапе исследований изучался процесс получения сушеных брикетов, в связи с чем были выделены следующие значимые факторы: X_1/t_c , мин – продолжительность сушки брикетов; X_2/T° , град – температура сушки брикетов; X_3/d_0 , мм – диаметр продольного канала полого брикета.

В качестве критерия оптимизации (отклика) принята прочность сушеных брикетов: $-Y_9/\Pi$, %.

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получена математическая модель, характеризующая прочность полученных ПФП:

$$\Pi = -844,79 + 21,27 \cdot t_c + 13,58 \cdot T + 13,31 \cdot d_0 - 0,02 \cdot t_c \cdot T + 0,15 \cdot t_c \cdot d_0 - 0,15 \cdot T \cdot d_0 - 0,28 \cdot t_c^2 - 0,08 \cdot T^2 - 1,66 \cdot d_0^2 \rightarrow \text{opt} \quad (36)$$

При проведении экспериментальных исследований по процессу приготовления заменителя цельного молока на основе соевых-тыквенных композиций были выделены следующие значимые факторы, существенно влияющие на качество получаемых продуктов и энергоемкость процесса: X_1/C , ед. – соотношение компонентов в композиции (семена сои : тыква); X_2/λ , ед. – степень измельчения тыквенного компонента; X_3/ω_δ , с^{-1} – угловая скорость измельчающего диска.

В качестве критериев оптимизации приняты следующие: Y_{10}/K , % – выход сухих веществ в экстрагент; Y_{11}/W , % – влажность мезги соево-тыквенной; $Y_{12}/N_{\text{ЭВ}}$, Вт·ч/кг – энергоемкость процесса получения жидкой белково-витаминной композиции.

На основе проведенной математической обработки данных

получены следующие математические модели, характеризующие процесс извлечения ПВ по их концентрации:

$$K = -8,76 + 9,25 \cdot c + 0,73 \cdot \alpha - 0,02 \cdot c \cdot \omega_d + 0,0002 \cdot \alpha \cdot \omega_d - 2,1 \cdot c^2 - 0,008 \cdot \alpha^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (37)$$

$$W = 122,95 - 2,27 \cdot \alpha - 0,13 \cdot c \cdot \alpha - 0,12 \cdot c \cdot \omega_d - 0,04 \cdot \alpha \cdot \omega_d + 16,63 \cdot c^2 + 0,03 \cdot \alpha^2 + 0,0008 \cdot \omega_d^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (38)$$

$$N_{\text{ср}} = 9,06 - 3,03 \cdot c - 0,16 \cdot \alpha - 0,01 \cdot \omega_d + 0,02 \cdot c \cdot \alpha + 1,27 \cdot c^2 + 0,001 \cdot \alpha^2 \rightarrow \text{opt} \quad (39)$$

В главе 4 «Производственно-хозяйственная проверка основных результатов исследования и оценка их технико-экономической эффективности» приведены общие сведения о реализации научных разработок и расчёт технико-экономических показателей.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований по повышению эффективности функционирования процесса механизированного кормления животных путем создания блочно-модульной технолого-технической системы, адаптированной к условиям малых ферм КРС реализованы и апробированы в ряде научных, научно-производственных, производственных, учебных и других организациях сельскохозяйственного профиля.

На основании проведенной проверки разработаны рекомендации по использованию разработанных технологических и технических решений.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили ранее выдвинутую гипотезу, позволили предложить аргументированное решение поставленной в работе проблемы, а также разработать обоснованные рекомендации для аграрного производства по использованию полученных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

В заключении приводятся полученные результаты исследования, на основании которых сделаны следующие **научные выводы**:

1. Многочисленные исследования ученых, а также практика показывают, что при существующей многовариантности типов и схем системы механизированного кормления КРС на фермах мало-

го размера, ее функционирование не является эффективным в виду отсутствия рационально унифицированных технологий и мало-энерго- и металлоемких технических средств по приготовлению и раздаче кормов, а также прессованных кормовых смесей и заменителей цельного молока.

Так, энергоемкость и металлоемкость прицепных раздатчиков-смесителей отечественного производства находятся на уровне – 9,27 кВт·ч/т и 0,918 т/(т/ч), а зарубежного (Венгрия, США) – 0,835-0,900 кВт·ч/т и 0,05-0,086 т/(т/ч).

По прессам-грануляторам с кольцевой матрицей эти показатели составляют – 9,75 кВт·ч/т и 1,1 т/(т/ч), с двухвинтовым нагнетателем – соответственно – 21,5 кВт·ч/т и 0,24 т/(т/ч).

По установкам для производства соевого молока серии DFJ-50A, производства КНР от 40,0 кВт·ч/т.

При этом, установлено, что требованиям рациональной технологической гибкости и универсальности, а также относительно низкой энерго- и металлоемкости, в полной мере отвечают малогабаритные многооперационные технические средства блочно-модульного типа многофункционального назначения;

2. На основе теории множеств и математической логики, базирующихся на принципах комбинаторики и пространства логических возможностей обоснованы подходы к созданию малоэнерго- и металлоемких технических средств блочно-модульного типа, адаптированных к условиям малых ферм.

Разработана модель оценки затратно-энергетической эффективности функционирования системы механизированного кормления животных в условиях малых ферм КРС, позволяющая на стадии ее проектирования оценить принятые технологические и технические решения по величине материальных, трудовых и энергетических затрат, с учетом качественных показателей работы малогабаритно-многооперационных технических средств многофункционального назначения, а также количества операций, выполняемых одной машиной;

3. Сравнительная оценка затратно-энергетической эффективности механизированного процесса приготовления кормов и кормовых смесей с их раздачей на малых фермах КРС основывает-

ся на полученных аналитическим путем математических зависимостях, характеризующих показатели качества работы технических средств по:

- степени измельчения измельчающе-распределяющего модуля ММ МРПК;
- показателям равномерности подачи и однородности выдаваемой смеси ММ МРПК;
- показателю прочности гранул и брикетов, получаемых с помощью ММ СПГБ;
- показателю концентрации питательных веществ в ЗЦМ на основе соево-тыквенных композиций, получаемого с помощью ММ СДЭУ;

4. Обоснованы оптимальные значения конструктивно-режимных параметров малогабаритных многооперационных технических средств для приготовления и раздачи кормов и кормовых смесей, приготовления гранул и брикетов, а также ЗЦМ и кормовой добавки с помощью полученных адекватных математических моделей в виде достоверных уравнений регрессии и эмпирических зависимостей;

Оптимальными параметрами и режимами работы технических средств блочно-модульного типа, обеспечивающих выполнение процессов в соответствии с требуемыми показателями качества, а также минимальными материальными и энергетическими затратами являются:

- для малогабаритного многооперационного мобильного раздатчика-питателя кормов и кормовых смесей:
 - 1) угловая скорость ротора ИРУ – $\omega - 190,0 \text{ с}^{-1}$;
 - 2) интенсивность колебаний козырька ИРУ – $n_k = 60 \text{ кол./мин.}$;
 - 3) выход рабочей части Н-образных молотков ИРУ – $\Delta_n = 8 \text{ мм}$;
- для малогабаритного многооперационного стационарного пресс-гранулятора-брикетировщика:
 - 1) угловая скорость винта пресса – $\omega_b - 9 - 10 \text{ с}^{-1}$;
 - 2) диаметр продольного канала в брикете – $d_o - 2,0 - 2,1 \text{ мм}$;
 - 3) соотношение компонентов (солома : тыква) – $\gamma = 1,0 : 1,0$;
- для процесса сушки брикетов:
 - 1) продолжительность сушки брикетов – $t_c = 35 \text{ мин}$;

2) температура – $T^{\circ} = 79^{\circ} \text{C}$;

3) диаметр продольного канала в полом брикете – $d_o = 3,0$ мм;
– для малогабаритного многооперационного стационарного дезинтеграционно-экстракционного устройства с прессом для приготовления кальцийсодержащей добавки:

1) угловая скорость диска $\omega_d = 199 - 201 \text{ с}^{-1}$;

2) степень измельчения – $\lambda = 44 - 45$ ед.;

3) соотношение семена сои : тыква = 1 : 1;

– для получения КБКД:

1) угловая скорость винта – $\omega_o = 6,0 \text{ с}^{-1}$;

2) диаметр отверстия – $d_o = 5,0$ мм;

3) влажность НСТО – $W = 60$ % с расхождением по теоретическим данным в пределах 4,8 – 9,9 % при доверительной вероятности $P = 0,9$;

5. Полученные экспериментальным путем параметры подтверждены результатами теоретических исследований и обоснованы в результате проведенной производственной проверки. На основе проведенных исследований и полученных результатов разработаны конструктивно-технологические схемы рациональных вариантов технологической линии приготовления и раздачи кормов с использованием малогабаритных многооперационных технических средств двухфункционального назначения:

– ММ МРПК (раздача и подача с одновременным смешиванием);

– ММ СПГБ (гранулирование и брикетирование);

– ММ СДЭУ (получение ЗЦМ и кормовой добавки);

6. Производственной проверкой установлено, что:

– ММ МРПК обеспечивает самозагрузку, измельчение с равномерным распределением корма в бункере, транспортировку, равномерное дозирование однокомпонентных грубых и сочных кормовых продуктов, а также однородных смесей на их основе при $\lambda = 2,9-6,0$ ед. и $\theta_c = 87,5$ %;

– ММ СПГБ – равномерное усреднение влаги в прессуемых композициях, формование гранул и полых брикетов требуемой прочности $II = 95,0$ %;

– ММ СДЭУ – дезинтеграцию исходных компонентов и их композиций с экстракцией питательных веществ с требуемой их кон-

центрацией – $K = 12,0 \%$, отделением нерастворимого соевотыквенного остатка – жома и получением кальцийсодержащей кормовой добавки заданного состава и свойств.

Проведенная проверка позволяет рекомендовать к использованию в производстве данные технические средства по семи вариантам их технологических и компоновочных схем.

7. В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности предложенных технологических схем и совокупности малогабаритных многооперационных средств механизации, установлено, что они позволяют:

- по малогабаритному многооперационному мобильному раздатчику-питателю кормов получить годовой экономический эффект по затратам в размере 1 612 026 руб., при лимитной цене 3 422 678 руб. на объем работ, равный 960 тонн;
- по линии производства гранулированных и брикетированных комбикормов-концентратов снизить металлоемкость в 2,1 раза, энергоёмкость в 3,98 раза при годовой экономической эффективности по затратам, равной 2 038 642 руб.;
- по линии производства заменителя цельного молока на основе соевотыквенных композиций снизить металлоемкость в 2,83 раза, энергоёмкость в 3,77 раза, при годовой экономической эффективности по затратам в размере 621 765 руб. и сроке окупаемости 1,32 года;

8. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований даны рекомендации и предложения производству по разработке и проектированию систем механизированного кормления животных на фермах КРС малой мощности с поголовьем – 50-100 коров.

Рекомендации и предложения производству

1. При разработке, проектировании и создании системы механизированного кормления КРС, адаптированных к условиям малых ферм, рациональным подходом является использование малогабаритных многооперационных технических средств двухфункционального назначения в виде:

- самозагружающегося мобильного малогабаритного многооперационного раздатчика-питателя кормов, производительностью на

смешивании и раздаче кормов не менее 40,0 т/ч, агрегируемого трактором типа МТЗ;

- стационарного многооперационного пресс-гранулятора-брикетировщика кормов, производительностью 300 кг/ч, с сушильной камерой «Универсал»-ЭСПИС-4 и установленной мощностью 10,5 кВт;
- стационарного многооперационного дезинтеграционно-экстракционного устройства, производительностью 300 л/ч по заменителю цельного молока и устройством для приготовления кальций-содержащей кормовой добавки с установленной мощностью до 2,0 кВт;

2. Данную совокупность машин рекомендуется компоновать по схемам в соответствии с разработанными вариантами, с учетом структуры стада, видового состава исходного сырья, на основе сезонного годового графика загрузки и работы данного оборудования, в его блочно-модульном исполнении на фермах до 100 коров.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя наработанный теоретический и экспериментальный материал, имеется возможность и целесообразность создания высокоэффективных технологических и технических решений для малых ферм в направлении повышения их технологической гибкости и универсальности по следующей совокупности вариантов:

- разработки технических средств блочно-модульного типа для приготовления и раздачи кормовых смесей с объемом бункера до 10,0 м³ различной компоновки;
- разработки технических средств блочно-модульного типа пресс-грануляторов и пресс-брикетировщиков для получения продуктов различной конфигурации и более широкого кормового ассортимента;
- разработки технических средств решетчато-ножевого типа для приготовления ЗЦМ и белково-витаминных добавок.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Издания, индексируемые в Scopus и Web of Science:

1. Technological approaches to the use of sosnovsky hogweed as a component of the feed additive / S.M. Dotsenko, L.G. Kruchkova, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06 (04), 7078-7081. Coden [USA]: IAJPBB. ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com> <http://doi.org/10.5281/zenodo.2628895>.
2. Development of a techno-technical system of animal feeding adaptive to farm conditions / S.M. Dotsenko, V.U. Frolov, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06 (05), 9505-9510. Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com> <http://doi.org/10.5281/zenodo.2767731>.
3. Simulation of the process of obtaining highquality mixtures using a conveying and metering machine / S.M. Dotsenko, S.V. Shchitov, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06(05), 9511-9517 Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com>. <http://doi.org/10.5281/zenodo.276776>.
4. Ways to improve the efficiency of production whole milk replacer / L.G. Kruchkova, A.V. Burmaga, I.V. Bumbar, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, Iajps 2019, 06 (04), 7043-7046 Coden [USA]: IAJPBB ISSN: 2349-7750. URL: <http://www.iajps.com> <http://doi.org/10.5281/zenodo.2628859>.
5. Substantiation Of The Method And Parameters Of The Process Of Grinding Root Crops For Lines For The Preparation Of Granulated Forages/ S.M. Dotsenko, L.G. Kruchkova, P.N. Shkolnikov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, May–June 2018, RJPBCS 9(3) Page No. 737/ ISSN: 0975-8585 Coden.

Издания, рекомендованные ВАК Минобрнауки РФ:

6. Школьников, П.Н. Научные основы разработки системы заготовки сапропелевого сырья и приготовления кормовой добавки с его использованием / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко // Научное образование. - 2014. - №3. - С.11-19.
7. Школьников, П.Н. Обоснование технологии и параметров процесса приготовления белково-минеральной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко и др. // Вестник КрасГАУ 2014. - №9.

- С.201-206.

8. Школьников, П.Н. Использование сапропеля в производстве белково-минеральной кормовой добавки / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко и др. // Кормопроизводство. - 2015. - №3. - С.43-48.

9. Школьников, П.Н. Использование соевой окары в технологии производства белково-углеводных кормовых продуктов для кроликов добавки / П.Н. Школьников, С.В. Вараксин, С.М. Доценко и др. // Кормопроизводство. - 2015. - №5. - С.40-44.

10. Школьников, П.Н. Экономическая оценка производства кормовой добавки с использованием сапропеля / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2015. - №5. - С.27-28.

11. Школьников, П.Н. Повышение эффективности функционирования технологической линии производства и раздачи кормов на малых фермах крупного рогатого скота / П.Н. Школьников // АгроЭкоИнфо. - 2016. - № 4. - [URL:http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st_433.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st_433.doc).

12. Школьников, П.Н. Обоснование параметров многофункционального малогабаритного мобильного агрегата для малых ферм крупного рогатого скота / П.Н. Школьников // АгроЭкоИнфо. - 2016. - №4. - [URL:http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st434.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st434.doc).

13. Школьников, П.Н. Теоретические основы рабочего процесса пресса для производства влажных гранул / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - [URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_202.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_202.doc).

14. Школьников, П.Н. Основы разработки смесителя-усреднителя для линии производства гранулята кроликам / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, К.М. Горбунов и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - [URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc).

15. Школьников, П.Н. Научные основы разработки пресс-гранулятора для производства кормовых продуктов кроликам / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, К.М. Горбунов и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - [URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_204.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_204.doc).

16. Школьников, П.Н. Кинетика усреднения влаги в соевосапропелевых композициях при кондиционировании смеси / П.Н. Школьников, В.А. Широков, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_205.doc.
17. Школьников, П.Н. Технологические и методологические подходы к разработке технологии и технических средств по производству соево-мясокостной кормовой добавки / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, А.Н. Вишневыский // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_216.doc.
18. Школьников, П.Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию пропускной способности смесителя-усреднителя / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С. Н. Воякин // АгроЭкоИнфо. - 2017. - №4. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_420.doc.
19. Школьников, П.Н. Обоснование параметров уплотняющей матрицы винтового пресса / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.А. Винокуров и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - №4. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_443.doc.
20. Школьников, П.Н. Обоснование параметров процесса дезинтеграции-гомогенизации тыквенно-зерновой композиции решеточно-ножевым аппаратом пресса / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.А. Винокуров и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 4. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_444.doc.
- структурно-функциональной схемы и параметров пресса для получения гранулированно-брикетированных смесей животным / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.А. Винокуров и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - №4. - URL: <http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st445.doc>.
22. Школьников, П. Н. Кинетика уплотнения бинарной композиции в приложении к обоснованию параметров компрессионной камеры винтового пресса-гранулятора / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.Н. Воякин // Дальневосточный аграрный вестник. - 2017. - №4. - С.162-166.
23. Школьников, П.Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию мощности, затрачиваемой на привод пресс-

гранулятора / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.Н. Воякин // АгроЭкоИнфо. – 2018. – №1. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/1/st_111.doc.

24. Школьников, П.Н. Научные основы повышения эффективности процессов производства и переработки грибов рода «Pleurotus» / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, А.И. Гончарук и др. // АгроЭкоИнфо. – 2018. – №2. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_235.doc.

25. Школьников, П.Н. Научные основы разработки системы утилизации отработанного субстратного сырья, получаемого при производстве грибов рода «Pleurotus» / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, А.И. Гончарук и др. // АгроЭкоИнфо. – 2018. – №2. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_236.doc.

26. Школьников, П.Н. Теоретические аспекты повышения эффективности работы мобильного раздатчика-питателя кормов в системе «подача – гранулирование кормовых смесей» / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, А.И. Гончарук и др. // АгроЭкоИнфо. 2018. №2. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_234.doc.

27. Школьников, П.Н. Кинетика обезвоживания влажных гранул в приложении к обоснованию производительности камерной сушилки / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.Н. Воякин // Кормопроизводство. - 2018. - №2. - С.38-40.

28. Школьников, П.Н. Кинетическое обоснование процесса сушки белково-минерального гранулята / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, В.А. Макаров и др. // Вестник КрасГАУ 2018. - №5. - С.167-172.

29. Школьников, П.Н. Кинетические аспекты уплотнения белково-витаминной композиции при получении гранул и брикетов / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.А. Винокуров [и др.] // Вестник КрасГАУ 2018. - №6. - С.105-111.

30. Школьников, П.Н. Обоснование параметров устройства для получения формованных изделий / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, Л.А. Ковалева [и др.] // АгроЭкоИнфо. - 2020. - № 4. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_410.pdf.

31. Школьников, П.Н. Повышение эффективности процесса приготовления и раздачи корма при использовании МММА / П.Н. Школьников, С.В. Щитов, А.В. Якименко и др. // Дальнево-

- сточный аграрный вестник. - 2020. - №4 (56). - С.141 - 145.
32. Школьников, П.Н. Улучшение процесса приготовления и раздачи тыквы на малых фермах КРС / П.Н. Школьников, С.В. Щитов, С.П. Присяжная и др. // АгроЭкоИнфо. - 2020. - № 4. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_419.pdf.
33. Школьников, П.Н. Результаты исследований по изучению процесса получения прессовано-формованных продуктов / П.Н. Школьников, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов // АгроЭкоИнфо. - 2021. - №1. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_104.pdf.
34. Школьников, П.Н. Результаты исследований по изучению процесса получения кормовых продуктов в виде заменителей цельного молока/ П.Н. Школьников, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов // АгроЭкоИнфо. - 2021. - №1. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_113.pdf.

Монографии:

35. Школьников, П.Н. Научные основы процессов приготовления кормовой добавки с использованием сапропеля / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, В.А. Широков и др. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2018. – 295 с.
36. Школьников, П.Н. Научно-практические основы технологии приготовления формованных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций: монография / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, А.В. Бурмага и др. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2017. – 350 с. – ISBN 978-5-9642-0403-9

Патенты РФ на изобретения:

37. Патент РФ № 2563676. Способ приготовления белково-углеводно-минерального кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 26.08.2015.
38. Патент РФ № 2563677. Способ приготовления белково-минерально-витаминного кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 26.08.2015.
39. Патент РФ № 2563673. Способ приготовления белково-витаминно-минерального кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 26.08.2015.
40. Патент РФ № 2555581. Способ приготовления гранулированно-

- го кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 08.06.2015.
41. Патент РФ № 2555578. Способ приготовления гранулированного кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 08.06.2015.
42. Патент РФ № 2621354. Способ приготовления гранулированного корма / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Широков и др. Оpubл. 02.06.2017.
43. Патент РФ № 2624947. Измельчитель влажных продуктов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 11.07.2017.
44. Патент РФ № 2624954. Самозагружающийся кормораздатчик / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук. Оpubл. 11.07.2017.
45. Патент РФ № 2628397. Способ приготовления гранулированного комбикорма для кроликов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 16.08.2017.
46. Патент РФ № 2634004. Способ приготовления белково-витаминных продуктов функциональной направленности / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 23.10.2017.
47. Патент РФ № 2634005. Способ приготовления кормов для кроликов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 23.10.2017.
48. Патент РФ № 2634359. Способ приготовления гранулированного продукта для кроликов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 26.10.2017.
49. Патент РФ № 2652387. Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, О.В. Гончарук и др. Оpubл. 26.04.2018
50. Патент РФ № 2665075. Способ приготовления гранулированного концентрата / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, О.В. Гончарук и др. Оpubл. 28.08.2018.
51. Патент РФ № 2663610. Агрегат для поточного приготовления заменителя цельного молока и комбикормов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.Г. Иванов и др. Оpubл. 07.08.2018.

52. Патент РФ № 2652389. Способ приготовления гранулированного комбикорма для кроликов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 26.04.2018.
53. Патент РФ № 2663340. Способ приготовления комбикорма для кроликов / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.И. Гончарук и др. Оpubл. 03.08.2018.
54. Патент РФ № 2690637. Пресс-гранулятор / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, С.А. Винокуров и др. Оpubл. 04.06.2019.
55. Патент РФ № 2685943. Прессующее устройство / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, С.А. Винокуров и др. Оpubл. 23.04.2019.
56. Патент РФ № 2727270. Способ приготовления каротино-кальциевой добавки / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, С.В. Вараксин и др. Оpubл. 21.07.2020.
57. Патент РФ № 2727272. Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.В. Якименко и др. Оpubл. 21.07.2020.
58. Патент РФ № 2729216. Способ приготовления белково-концентратной добавки / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.Г. Крючкова. Оpubл. 05.08.2020.
59. Патент РФ № 2729393. Способ приготовления белково-витаминного концентрата / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.Г. Крючкова. Оpubл. 06.08.2020.
60. Патент РФ № 2734264. Способ приготовления белково-углеводного кормового продукта / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А. В. Якименко и др. Оpubл. 14.10.2020.
61. Патент РФ № 2727255. Способ получения белково-кальциево-токофероловой добавки / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.Г. Крючкова. Оpubл. 21.07.2020.
62. Патент РФ № 2738978. Способ получения белково-углеводного продукта для крупного рогатого скота / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, А.В. Якименко и др. Оpubл. 21.12.2020.
63. Патент РФ № 2740649. Пресс-гранулятор / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.А. Ковалева и др. Оpubл. 19.01.2021.
64. Патент РФ № 2740651. Шнековый пресс-гранулятор / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, Л.А. Ковалева и др. Оpubл. 19.01.2021.

В других изданиях:

65. Школьников, П.Н. Основы разработки сапропелевого сырья и его использования при производстве кормовых добавок / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, В.А. Широков // Механизация и электрификация технологических процессов в с/х: сб. науч. тр. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – С.14-22.
66. Школьников, П.Н. Использование сапропелевого сырья в приготовлении белково-минеральных и углеводно-минеральных кормовых добавок / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, В.А. Широков и др. // Международные исследования: сборник по результатам XXVI НК. – Екатеринбург, 2014. - №4. - С.103
67. Школьников, П.Н. Разработка технологии приготовления белково-минеральной кормовой добавки для с/х животных / П.Н. Школьников, В.А. Макаров // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XVI региональной НПК (г. Благовещенск, 14 мая 2015 г.): - Благовещенск: Изд-во АГМА, 2015. – Т.2. – С.93-95.
68. Школьников, П.Н. Использование многофункционального мобильного агрегата в линиях приготовления и раздачи кормов / П.Н. Школьников, В.А. Широков // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях; материалы Международной НПК, сб. науч. тр. – Волгоград: Изд-во ВГАУ, 2015. – С.155-159.
69. Школьников, П.Н. Использование сапропелевого сырья в приготовлении углеводно-минеральной кормовой добавки / П.Н. Школьников // Молодёжь XXI века: шаг в будущее: материалы XVI региональной НПК (г. Благовещенск, 14 мая 2015 г.). - Благовещенск: Изд-во АГМА, 2015. – Т.2. – С.110-111.
70. Школьников, П.Н. Обоснование процесса приготовления белково-минеральной кормовой добавки для с/х животных и птицы / П.Н. Школьников, В.А. Макаров, В.А. Широков // Механизация и электрификация технологических процессов в с/х производстве: сб. науч. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. - № 22. – С.114-120.
71. Школьников, П.Н. Технологические аспекты использования сапропеля в производстве белково-минеральной кормовой добавки / П.Н. Школьников, В.А. Макаров, В.А. Широков // Механизация и электрификация технологических процессов в с/х производстве: сб. науч. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. - № 22. – С.120-125.

72. Школьников, П.Н. Использование многофункционального малогабаритного мобильного агрегата в линиях приготовления и раздачи кормов / П.Н. Школьников, В.А. Широков // Механизация и электрификация технологических процессов в с/х производстве: сб. науч. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 2016. – С.126-129
73. Школьников, П.Н. Технология и режимы производства кормового гранулята с использованием сапропеля / П.Н. Школьников, В.А. Макаров, В.А. Широков // Механизация и электрификация технологических процессов в с/х производстве: сб. науч. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 2016. – С.130-133.
74. Школьников, П.Н. Кинетика сушки белково-витаминного гранулята в камерной сушилке / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, В.А. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки: материалы Российской национальной НК с международным участием (22 декабря 2017 г.). – Часть I. – Благовещенск: АмГУ, 2017. - С.70-71.
75. Школьников, П.Н. Кинетика уплотнения композиций в приложении к обоснованию параметров компрессионно-формующего узла пресс-гранулятора / П.Н. Школьников, С.М. Доценко, С.А. Винокуров [и др.] // Современные проблемы науки: материалы Российской национальной НК с международным участием (22 декабря 2017 г.). – Часть I. – Благовещенск: АмГУ, 2017. - С.72-73.
76. Школьников, П.Н. Экспериментальные исследования многофункционального универсального агрегата / П.Н. Школьников, С.В. Щитов // Международная НПК профессорско-преподавательского состава, посвященная 155-летию РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. (2-4 декабря 2020 г.) Москва, 2020. - С.24.
77. Школьников, П.Н. Совершенствование процесса приготовления корма на фермах с малым поголовьем животных / П.Н. Школьников, С.В. Щитов // 70-я Международная НК «Итоги науки в теории и практике 2020». «Евразийское Научное Объединение» / № 12 (70) / Декабрь, 2020. - С.140-142.
78. Школьников, П.Н. Снижение энергетических затрат при приготовлении и раздаче кормовых рационов / П.Н. Школьников, С.В. Щитов, Е. Е. Кузнецов // Сборник научных трудов «Энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения» IX Всероссийской (национальной) НПК, посвященной 90-летию со дня

рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Хазретали Умаровича Бугова (22 – 23 декабря 2020 г.). Нальчик, 2020. – С.184 -188.

79. Школьников, П.Н. Результаты исследований по использованию универсального кормораздатчика / П.Н. Школьников, С.В. Щитов // «Чтения академика В. Н. Болтинского»: сборник статей семинара (Москва, 20-21 января 2021 г.). - Ч.2. – С. 21-27.

80. Школьников, П.Н. Теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию процесса получения кормового продукта заменяющего цельное молоко / П.Н. Школьников, С.В. Щитов // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона: материалы Всероссийской (национальной) НПК, посвященной Дню российской науки (Улан-Удэ, 4-10 февраля 2021 г.). С.121-124.

81. Школьников, П.Н. Результаты исследований по определению качественного состава выдаваемого корма / П.Н. Школьников, С.В. Щитов // 71-я Международная НК «Наука и современность 2021». «Евразийское Научное Объединение»/№ 1 (71) /Январь, 2021. - С.154-156.

Подписано в печать «__» _____ 2022 г.
Формат 60 × 84 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. – 2. Тираж 100 экз. Заказ № __.
Отпечатано в типографии ООО «Крон»
350044, г. Краснодар, пр. Чекистов, 20.