

На правах рукописи



БОГОМОЛОВ Игорь Сергеевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУСВОЯЕМЫХ КОМБИКОРМОВ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ, ПТИЦЫ,
ПУШНЫХ ЗВЕРЕЙ И РЫБ ЦЕННЫХ ПОРОД**

Специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств и 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Афанасьев Валерий Андреевич

Официальные оппоненты: Панин Иван Григорьевич

доктор технических наук, старший научный сотрудник, ООО «Авита», генеральный директор

Зверев Сергей Васильевич

доктор технических наук, профессор филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

«Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки» (ВНИИЗ), заведующий лабораторией

Фейденгольд Владимир Борисович

доктор технических наук, профессор НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия», заведующий кафедрой зерна и продуктов его переработки

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж

Защита состоится «19» мая 2022 г. в 10⁰⁰ ч. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес совета университета.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «16» февраля 2022 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Автореферат разослан «14» марта 2022 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, на соискание ученой степени доктора технических наук, Д 212.035.01, д.т.н., профессор



Л.Н. Фролова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. и Федеральным законом «О развитии сельского хозяйства» намечены основные задачи по развитию комбикормовой промышленности. Согласно Доктрине продовольственной безопасности, утвержденной 21.01.2020 г. Президентом РФ, уровень самообеспечения по зерну должен составлять не менее 95 %, по мясу и мясопродуктам – не менее 85 %, по молоку и молокопродуктам – не менее 90 %, по рыбе и рыбопродуктам – не менее 85 %. Развитие животноводства невозможно без научно-обоснованного кормления, без производства полнорационных комбикормов. Комбикормовая промышленность в последние годы демонстрировала уверенный рост. По данным Росстата объем производства комбикормов за последнее десятилетие ежегодно увеличивался на 5-7 %. В 2020 г. производство отечественных комбикормов увеличилось на 1,3 % и достигло 30,8 млн. т. Потребность в полнорационных комбикормах в России только для сельскохозяйственных организаций составит к 2025 г. – 40,0 млн. т.

Затраты на корма и кормообеспечение занимают до 70 % в структуре себестоимости комбикормов. Применяемые отечественные технологии кормоприготовления морально устарели, трудоемки и энергозатратны. Они не позволяют решить проблему обеспечения животноводческих, зверо- и рыбоводческих хозяйств высококачественными биологически полноценными комбикормами. Значительная часть российских комбикормовых заводов используют импортные технологии и оснащены импортным оборудованием. В состав рецептов комбикормов для рыб включается преимущественно импортное сырье (рыбная мука, кровяная мука, соевый шрот и др.).

К числу проблем, сдерживающих производство комбикормов, относятся: моральный и физический износ основных производственных фондов, отсутствие необходимых отечественных эффективных технологий и инновационного конкурентоспособного оборудования для производства кормов, высокая стоимость кормов, высокая стоимость импортного оборудования для производства кормов, отсутствие новых разработок в области рецептуры комбикормов. Актуальной задачей в кормопроизводстве, является разработка новых принципов оценки питательности кормов и рационов, способов повышения конверсии питательных веществ, обеспечивающих повышение продуктивности.

Теоретические и практические основы процесса производства высокоусвояемых комбикормов и их аппаратурное оформление отражены в работах отечественных ученых: Лаврентьева А.Ю., Егорова И., Сысуева,

Перельдика Н.Ш., Паркалова И.В., Пономарева С.В., Афанасьева В. А., Харламова К.В., Балакирева Н.А., Квартниковой Е.Г., Егоровой С.В., и ряда зарубежных исследователей Aarseth, K.A., Sorensen, M., Overland, M., Storebakken, T., Ruan, R., Mao, Z. и др.

Работа проводилась в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», планом НИР ОА «Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности» и научно-технической программой Союзного государства «Разработка инновационных энергосберегающих технологий и оборудования для производства и эффективного использования биобезопасных комбикормов для ценных пород рыб, пушных зверей и отдельных видов животных» (Госконтракт от 01.10.2018 г. № 225/13-ГК»); Стратегической программы исследований технологической платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания» на 2014 – 2020 гг. «Разработка энергосберегающего оборудования пищевых и перерабатывающих производств АПК» в редакции № 1/18 от 16 мая 2018 г.

Цель диссертационной работы – развитие научно-практических основ процессов производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения с программируемыми свойствами; разработка перспективных технологий и оборудования, обеспечивающих повышение питательной ценности, усвояемости, поедаемости и доброкачественности высокоусвояемых комбикормов для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

Для достижения цели решались **следующие основные задачи**:

1. Формулировка концептуальных подходов к созданию высокоэффективных технологий и перспективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

2. Определение реологических, теплофизических и структурно-механических свойств компонентов высокоусвояемых комбикормов для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

3. Научное обоснование выбора рецептурного состава комбикормов нового поколения, адаптированных для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

4. Исследование основных кинетических закономерностей исследуемых процессов (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флокирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) компонентов комбикормов нового поколения с обоснованием

рациональных параметров процессов, обеспечивающих расщепление трудноперевариваемых соединений и инактивацию антипитательных веществ зерна, и направленных на повышение усвояемости, поедаемости и доброкачественности комбикормов.

5. Создание комплекса математических моделей, описывающих исследуемые процессы (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, вакуумного напыления, охлаждения и др.) при производстве высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, а также инженерных методик расчетов оборудования.

6. Разработка оригинальных конструкций высокоэффективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения (смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охлаждителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.), инновационных технологий и комплектов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов и разработка технической документации.

7. Комплексное исследование показателей качества высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

8. Проведение зоотехнических испытаний разработанных видов высокоусвояемых комбикормов нового поколения с программируемыми свойствами в кормлении сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб для определения эффективности их потребления.

9. Осуществление промышленной апробации разработанных технологий, линий и видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб с технико-экономическим обоснованием эффективности их внедрения в производство.

Научная концепция работы. Развитие и научное обеспечение системы процессов (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флокирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения с программируемыми свойствами для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб с соответствующим аппаратным оформлением, на основе исследований и анализа закономерностей тепло – и массообмена в исследуемых процессах, разработка перспективных технологий и оборудования, обеспечивающих повышение питательной ценности, усвояемости, поедаемости и доброкачественности высокоусвояемых комбикормов.

Научные положения, выносимые на защиту:

– обоснованные концептуальные подходы к созданию высокоэффективных технологий и перспективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, направленные на интенсификацию механических, тепловых и массообменных процессов;

– реологические, теплофизические и структурно-механические свойства компонентов высокоусвояемых комбикормов для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб;

– рецепты комбикормов нового поколения, адаптированных для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, обеспечивающих расщепление трудноперевариваемых соединений и инактивацию антипитательных веществ зерна, и направленных на повышение усвояемости, поедаемости и доброкачества комбикормов;

– кинетические закономерности исследуемых процессов (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флюкирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) компонентов комбикормов нового поколения с обоснованием рациональных параметров процессов и их использование при проектировании оригинальных конструкций высокоэффективных видов оборудования (смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охлаждителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.);

– комплекс математических моделей, описывающих исследуемые процессы (влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, вакуумного напыления, охлаждения и др.) при производстве высокоусвояемых комбикормов нового поколения, а также инженерные методики расчетов разработанных видов оборудования;

– принципы и методы интенсификации при создании оригинальных конструкций высокоэффективных видов оборудования (смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охлаждителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.) с инженерными методиками расчета, обеспечивающих получение высокоусвояемых комбикормов нового поколения.

Научная новизна. Разработаны концептуальные подходы к созданию высокоэффективных технологий и перспективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, направленные на интенсификацию и повышение эффектив-

ности процессов с соответствующим аппаратурным оформлением, достигнутым в результате разработки и модернизации перспективных видов оборудования.

Установлены основные кинетические закономерности исследуемых процессов (влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флокирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) компонентов комбикормов нового поколения.

Выявлены реологические, теплофизические и структурно-механические свойства компонентов высокоусвояемых комбикормов для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

Созданы математические модели:

- процесса течения расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера, описывающей изменение средней скорости и температуры расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера;

- процесса экструзии зерновых культур с использованием программного комплекса FlowVision, описывающая изменение давления и скорости течения расплава продукта по длине расширяющегося, сужающегося и параллельного конусно-кольцевого канала фильеры;

- процесса тепло- и массообмена при влаготепловой обработке для обеззараживания и кондиционирования рассыпных комбикормов, позволяющая определить температуру и влагосодержание зерна в любой момент времени, а также расход пара.

Разработаны также методики инженерного расчета кондиционера-пропаривателя и плющильной машины, позволяющие рассчитать основные конструктивные параметры оборудования.

Научная новизна разработанных технических решений подтверждается 14 патентами Российской Федерации на изобретения (пат. РФ № [2495608](#), [2717647](#), [2728338](#), [2728603](#), [2736134](#), [2733290](#), [2736133](#), [2736389](#), [2739798](#), [2740018](#), [2742058](#), [2749885](#), [2764191](#), [2764804](#)).

Практическая значимость работы. Теоретические и экспериментальные исследования, результаты математического моделирования позволили разработать высокоэффективные технологии высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб (пат. РФ № [2717647](#), [2728603](#), [2736134](#), [2739798](#), [2740018](#), [2742058](#), [2749885](#)) с соответствующим аппаратурным оформлением (пат. РФ № [2495608](#), [2728338](#), [2733290](#), [2736133](#), [2736389](#), [2764804](#)).

Определены и обоснованы режимы исследуемых процессов (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флокирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) компонентов

комбикормов нового поколения с обоснованием рациональных параметров процессов, которые были использованы при проектировании оригинальных конструкций высокоэффективных видов оборудования (смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охладителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.), обеспечивающие снижение удельных затрат энергии и повышение качества готовой продукции.

Выполнено комплексное исследование показателей качества высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

Разработаны методики инженерного расчета предлагаемых перспективных конструкций технологического оборудования: смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охладителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.

Разработаны оригинальные конструкции экспандера, центробежного шелушителя, дражировочных аппаратов, сушилки, измельчителя (пат. РФ № 2495608, 2728338, 2733290, 2736133, 2736389, 2764191).

Проданы лицензии (№№ гос. регистрации РД0381004 от 23.11.2021 г. и РД0381560 от 29.11.2021 г.) на представление права использования изобретения ООО «Премьер» по патентам на изобретения № 2728603 и № 2728338.

Результаты диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на старших курсах подготовки бакалавров и магистров в качестве материалов для курсового проектирования и выпускных квалификационных работ.

Методология и методы исследования. Методологическая основа исследования включает в себя комплекс общенаучных и частнонаучных методов познания. Исследования проводили согласно методологии, в основу которой положен системный подход.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует п. 1, 2, 3, 4 паспорта специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и п. 1, 2, 3, 4, 10 паспорта специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Степень достоверности и апробация работы. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается глубокой проработкой литературных источников по теме диссертации, постановкой многочисленных экспериментов, применением современных инструментальных методов анализа, математической обработкой результатов экспериментов, публикацией основных положений диссертации.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на ежегодных международных, всероссийских, научных, научно-технических и научно-практических конференциях, форумах и симпозиумах: (Москва, 2015 г.); (Воронеж, 2012, 2020, 2021 г.); (Одесса, 2012 г.); (Минск, 2021 г.); (Нурсултан, 2021 г.); (Курск, 2021 г.); (Красноярск, 2021 г.); (Пермь, 2021 г.); (Волгоград, 2021 г.); и на научных конференциях ВГУИТ (Воронеж, 2012, 2020-2021 г.).

Результаты работы экспонировались на региональных, межрегиональных и всероссийских выставках: 18 межрегиональная специализированная выставка «Агропром» (Воронеж, 2013 г.); племенных сельскохозяйственных животных и животноводческого оборудования (Воронеж, 2012 г.); 18 международная специализированная торгово-промышленная выставка «ЗЕРНО-КОМБИКОРМА-ВЕТЕРИНАРИЯ-2013» (Москва, 2013 г.); V международной выставке изобретений и инноваций имени Н.Г. Славянова (Воронеж, 2020), IX Агропромышленного конгресса (Воронеж, 2019), по итогам которых награждена дипломами и грамотами. Являлся лауреатом премии правительства Воронежской области (Воронеж, 2015 г., 2020 г.)

Всего по теме диссертации опубликовано 70 работ, в том числе 1 учебное пособие, 2 монографии, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, 16 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 14 патентов РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, основных выводов и результатов, списка литературы, включающей 240 наименований, в том числе 83 на иностранных языках. Основное содержание работы изложено на 284 страницах машинописного текста, содержит 161 рисунок и 61 таблицу. Приложения изложены на 51 странице.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в анализе литературных и патентных источников по проблеме диссертационного исследования, постановке и проведении экспериментальных исследований, в анализе и обобщении результатов и их математической обработке, подготовка работы к публикации. Автором разработана техническая документация, проведена работа по патентованию разработок, апробации и внедрению разработанных технологий в производство.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена характеристика современного состояния технологии и техники для производства комбикормов, обоснована

актуальность избранной темы диссертационной работы, оценен уровень разработанности темы исследований, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе систематизированы литературные данные о современном состоянии технологии и техники для производства комбикормов. Рассмотрены особенности математического моделирования процессов смешивания, плющения, микронизации, влаготепловой и баротермической обработки, а также современные конструкции технологического оборудования и перспективные направления совершенствования технологий производства комбикормов.

На основании проведенного обзора и анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлена проблемно – концептуальная схема проведения исследований, раскрывающая последовательность этапов выполнения исследований, при реализации поставленных цели и задач работы; определены пути и методы решения научной проблемы.

Вторая глава посвящена исследованию процесса влаготепловой обработки зерновых культур и разработке технологии и оборудования для производства флокированных зерен. Объектом исследований являлись зерна пшеницы, овса, ячменя, кукурузы, гороха, отруби и др. зерновые культуры. Увлажнение зерна водой вели при изменении температуры в пределах от 20 до 100 °С и длительности обработки – от 1 до 10 мин. При проведении экспериментов зерно увлажняли до влажности 18-20 %. Пропаривание увлажненного зерна пшеницы, шелушенных и нешелушенных ячменя и овса осуществляли в пропаривателе в течение 30 мин; кукурузы и гороха – в течение 40 мин. Температура зерна в зависимости от условий процесса пропаривания повышается до 95-97 °С в течение 2-3 мин.

Эксперименты по обработке зерна ячменя паром под давлением 0,15-0,20 МПа показывают, что процесс увлажнения происходит более интенсивно и при расходе 0,11 кг/(кг·мин), влажность зерна в течение 3-5 мин достигает величины 30-33 %. Установлено, что при расходе пара 0,1 кг/кг зерна в минуту влажность зерна в течение 5-7 мин достигает 30 %. Выявлено влияние длительности обработки и расхода пара на степень клейстеризации крахмала: при обработке паром зерно гораздо быстрее увлажняется и набухает, чем при обработке водой.

Установлено (рисунок 1) что процесс переваримости (инкубирования) длится не менее 5 ч. Если в первый час выделилось от 100 до 200 мг/г глюкозы при различной обработке, то на пятом часу выделилось 10-20 мг/г, т.е. процесс практически прекратился.

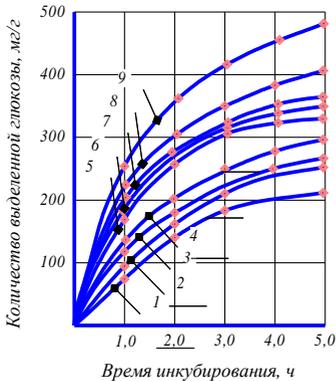


Рисунок 1 – Образование глюкозы при ферментативном гидролизе крахмала в пропаренном ячмене при времени инкубирования, мин: 1 – 1; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7; 5 – 10; 6 – 30; 7 – 60; 8 – 70; 9 – 80

Установлено (таблица 1), что степень клейстеризации растет с уменьшением величины зазора между вальцами.

Т а б л и ц а 1 – Изменение степени клейстеризации крахмала в зависимости от величины зазора между вальцами

Показатели	Зерно после пропаривания	Величина зазора между вальцами, мм						
		0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Степень клейстеризации, %	12	29	34	40	45	50	65	68

В полученных хлопьях степень клейстеризации равнялась 29 % при зазоре 0,5 мм и возрастала до 68 % при уменьшении зазора до 0,1 мм. После плющения клейстеризация крахмала возрастает: плющение ячменя, пропаренного в течение 1 мин, позволяет повысить степень клейстеризации до 33-40 %. В процессе пропаривания ячменя в течение до 30 мин степень клейстеризации повысилась до 36-40 %, а после плющения – возросла до 54-60 %. Рациональные режимы плющения обеспечили наибольшие значения содержания растворимых и легкогидролизуемых углеводов (таблица 2). Исследования процесса сушки хлопьев до влажности 8-12 % проводили при изменении температуры сушильного агента в интервале от 100 до 170 °С, скорости воздуха от 0,5 до 2,0 м/с, продолжительности обработки от 3 до 20 мин.

Так, после 5 мин пропаривания количество образовавшейся глюкозы в течение 5 ч инкубирования составила 320 мг/г, после 10 мин – 370 мг/г и после 60 мин возросло до 480 мг/г. Таким образом, переваримость крахмала ячменя (*in vitro*), обработанного паром при атмосферном давлении и плющенного повышается с увеличением экспозиции обработки и превышает переваримость крахмала необработанного ячменя в 2 раза.

Для исследования степени клейстеризации крахмала ячменя в зависимости от величины зазора между вальцами образцы ячменя, обработанного паром в течение 10 мин, пропускали через плющильный станок, изменяя величину зазора между вальцами.

Т а б л и ц а 2 – Рациональные режимы плющения пшеницы, кукурузы, гороха

Наименование зерна	Влажность увлажненного водой зерна, %	Время от-волаживания, ч	Температура пропаренного зерна, оС	Зазор между валками плющилки, мм
Пшеница	16,0-17,0	2-3	95-100	0,3-0,6
Кукуруза	18,0-20,0	4-6	100	0,8-1,0
Горох	17,0-19,0	4-6	95-100	0,8-1,0

Начальная влажность хлопьев была в пределах 20-25 %, начальная температура 20-25 °С. При изменении скорости агента сушки, имеющего температуру 150 °С, от 0,2 м/с до 1,0 м/с, влажность продукта после 6 минут обработки составляла, соответственно 17,6 и 13,2 % (рисунок 2).

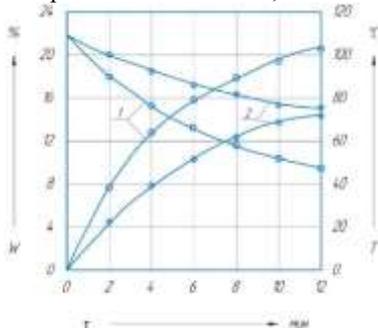


Рисунок 2 – Изменение влажности и температуры слоя хлопьев от состояния слоя в процессе сушки при $H_{\text{слоя}} = 250$ мм, $T_a = 150$ °С, $v_a = 0,7$ м/с: 1 – перемешиваемый, 2 – неподвижный

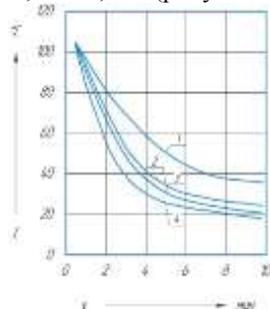


Рисунок 3 – Изменение температуры хлопьев в процессе охлаждения: 1 – $v_B = 0,2$ м/с, 2 – $v_B = 0,55$ м/с, 3 – $v_B = 0,75$ м/с, 4 – $v_B = 1,0$ м/с

На основании исследований можно рекомендовать следующий режим сушки хлопьев начальной влажностью 22-24 %: температура агента сушки – 120-130 °С; продолжительность сушки – 8-9 мин; скорость продувки слоя – 0,7-0,8 м/с; высота продуваемого слоя – 250-300 мм. Изучение процесса охлаждения показало (рисунок 3), что с увеличением скорости воздуха, температура продукта снижается быстрее.

Наиболее интенсивный режим охлаждения без ухудшения качества продукта происходит при скорости воздуха 0,7-0,8 м/с, высоте перемешивающего слоя – 300 мм, продолжительности охлаждения – 4-5 мин. Изучение влияния пропаривания и плющения на содержание биологически активных веществ показало, что в процессе обработки количество витамина E в кукурузе снижается на 23-28 %, витамина B_2 в ячмене – на

6-10 %. Микробиологические показатели сырья после обработки паром улучшаются, например, обсемененность зерна микроорганизмами снижается на 95-98 %.



Рисунок 4 – Кондиционер-пропариватель



Рисунок 5 – Плосцильная машина



Рисунок 6. Технологическая линия для производства плоских хлопьев для комбикормов

Были разработаны методики инженерного расчета кондиционер-пропаривателя и плосцильной машины, конструкторская документация на кондиционер-пропариватель (рисунок 4), плосцильную машину (рисунок 5), на линию производства флокированного зерна (рисунок 6).

Таким образом, разработанная технология производства стартерных и престартерных комбикормов с использованием флокированных зерен позволяет повысить усвояемость корма до 85-88 %. Она улучшает доступность крахмала в результате разрыва крахмальных зерен и их желатинизации, вкусовые качества, поедаемость и переваримость корма. Среднесуточный прирост живой массы поросят, получавших стартерные комбикорма с измельченными или неизмельченными зерновыми хлопьями, был выше, чем в контрольной группе на 13,6 и 4,4 %.

В третьей главе изложено описание новой технологии и оборудования для обеззараживания и кондиционирования рассыпных комбикормов, основанные на кондиционировании и выдержке кормов при высокой температуре более длительное время.

Экспериментальные данные по влагоприращению зерна с равномерной подачей воды на протяжении процесса влаготепловой обработки

показывают, что до $\tau = 720-780$ с, особенно при $\tau = 420-480$ с, образуется избыточное количество непоглощенной влаги на поверхности продукта по сравнению с другими интервалами времени осуществления процесса.

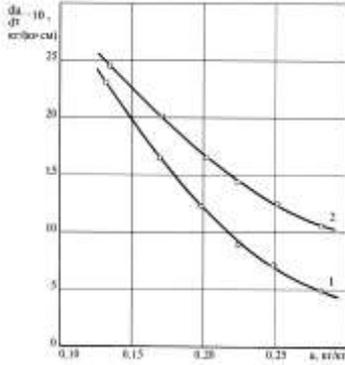


Рисунок 7 – Кривые скорости влагоприращения зерна ячменя (1) и пшеницы (2) в плотном слое с механическим перемешиванием. Технологические параметры для ячменя $G_2 = 0,167 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $G_3 = 0,028 \text{ кг/с}$, $q = 15,4 \text{ кг/м}^2$; для пшеницы $G_2 = 0,251 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $G_3 = 0,015 \text{ кг/с}$, $q = 22,7 \text{ кг/м}^2$

ного давления примем следующие допущения: фильтрация пара протекает одномерно по высоте плотного слоя; имеется локальное термическое равновесие в дисперсной среде; теплотери отсутствуют; мгновенный расход пара на входе в слой в периоде прогрева постоянен, теплотой на прогрев паровой фазы пренебрегаем. Совместное решение уравнение энергии для слоя зерна и уравнения неразрывности для потока конденсата в периоде прогрева позволило получить формулу для расчета температуры слоя зерна в любой момент времени периода прогрева

$$\bar{T}_1 = \frac{\varepsilon r}{c_{2k}} \ln \left| 0,97 + k_1 \left(\frac{\bar{U} + 1}{U_n + 1} - 1 \right) \right| + \bar{T}_{1n}, \quad (1)$$

В результате изучения пульсационной влаготепловой обработки отмечено, что наибольшее влияние в период прогрева зерна оказывают количество пара и его термодинамические параметры (температура, состояние насыщения). Анализ кривых скоростей влагоприращения зерна ячменя и зерна пшеницы в плотном слое с механическими перемешиванием (рисунок 7) показывает, что они являются монотонно убывающей функцией их влагосодержания. Несмотря на это, скорость влагоприращения остается достаточно высокой и составляет для ячменя $0,05 \text{ кг}/(\text{кг} \cdot \text{с})$ через 120 с ГТО и для пшеницы — $1,1 \text{ кг}/(\text{кг} \cdot \text{с})$ за этот же промежуток времени.

При расчете процесса конденсации фильтрующегося в дисперсной среде насыщенного пара атмосферного давления примем следующие допущения: фильтрация пара протекает одномерно по высоте плотного слоя; имеется локальное термическое равновесие в дисперсной среде; теплотери отсутствуют; мгновенный расход пара на входе в слой в периоде прогрева постоянен, теплотой на прогрев паровой фазы пренебрегаем.

Совместное решение уравнение энергии для слоя зерна и уравнения неразрывности для потока конденсата в периоде прогрева позволило получить формулу для расчета температуры слоя зерна в любой момент времени периода прогрева

где ε – коэффициент фазового превращения; r – теплота фазового превращения, кДж/кг; c – удельная теплоемкость зерна, Дж/(кг·К); U, u – влажосодержание зерна, кг/кг; T – температура, К; k_1 – эмпирический коэффициент.



Рисунок 8 – Комплект оборудования гидротермической обработки реактором для обеззараживания, кондиционирования и инактивации антипитательных веществ зерна и комбикорма

давлением, улучшить качество гранул, снизить энергозатраты, бактериальную обсемененность и грибную микрофлору.



Рисунок 9 – Пропариватель УЗ-ДПН-3

Предложена технология гидротермической обработки комбикормов (рисунок 8) для обеззараживания, кондиционирования и инактивации антипитательных веществ в импульсном псевдоожиженном слое насыщенным паром с механическим перемешиванием и распылением воды над слоем, состоящая из трех стадий.

Технология гидротермической обработки зерна и комбикормов позволит сократить в 1,5-2,0 раза продолжительность теплового воздействия на продукт по сравнению с обработкой промышленным способом при избыточном

давлении, улучшить качество гранул, снизить энергозатраты, бактериальную обсемененность и грибную микрофлору. В результате были разработаны конструкции пропаривателя (рисунок 9); кондиционера (рисунок 10) и охладителя (рисунок 11).



Рисунок 10 – Кондиционер ДКН-3



Рисунок 11 – Охладитель УЗ-ДОН-5

В четвертой главе разработана технология для производства высокобелковых кормовых добавок для различных видов животных и птицы. Объектом проведенных исследований являлся сорт узколистного люпина «Дега». Для шелушения зерна использовали центробежный шелушитель с частотой вращения рабочего диска $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, что обеспечивало скорость его периферии $v = 76 \text{ м/с}$. Для применения зерна люпина в кормопроизводстве в качестве добавки его целесообразно шелушить – отделить оболочку от ядра, что позволяет повысить белковую компоненту в продукте на 5-7 %.

Наиболее важными параметрами, влияющими на эффективность процесса шелушения зерна, являются влажность и скорость удара зерна о деку. На рисунке 12 представлен график выхода крупки после однократного удара. Общий выход крупки в зависимости от скорости молотков представлен на рисунке 13.

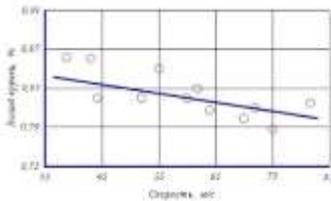
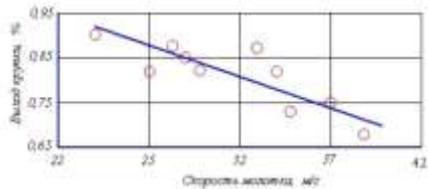


Рисунок 12 – Зависимость выхода крупки от скорости диска центробежной дробилки

Рисунок 13 – Выход крупки (после однократного удара и пневмосепарирования, \varnothing отверстий сита 5,8 мм)

Дробление проводилось на вальцах с продольной нарезкой (диаметр 250 мм, шаг нарезки 3,3 мм, $\alpha = 20^\circ$, $\gamma = 70^\circ$). Использование центробежного шелушителя для дробления зерна люпина влажностью 10-13 % при скорости рабочего диска $v = 76 \text{ м/с}$ обеспечивает получение люпиновой крупки с повышенным содержанием белка и с выходом не менее 72 %.

Исследование влияния условий экспандирования комбикормов на характер протекания процесса и качество готового продукта позволяет

оценить глубину физико-химических изменений, происходящих в расплаве исходной смеси. Температура расплава в предматричной зоне возрастает с увеличением числа оборотов шнека экспандера, что связано с повышением скорости выхода продукта за счет эффекта диссипации (рисунок 14). Увеличение начальной влажности продукта также ведет к возрастанию температуры.

Анализ графических зависимостей (рисунок 15) показал, что рабочие характеристики экспандера имеют похожий вид для всех значений начальной влажности смеси. При увеличении производительности происходит значительное возрастание давления до определенной величины.

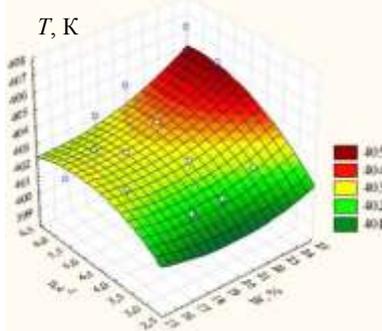


Рисунок 14 – Зависимость температуры продукта в предматричной зоне от начальной влажности смеси и частоты вращения шнека при температуре продукта 403 К

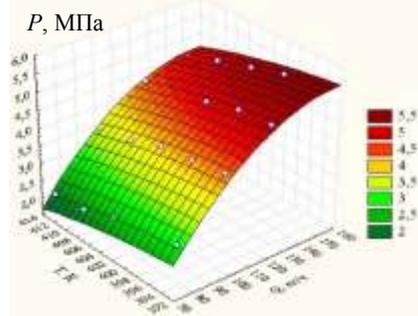


Рисунок 15 – Зависимость давления в предматричной зоне экспандера от его производительности и температуры в предматричной зоне при площади поперечного сечения формирующего канала $S = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и влажности 22%

Для описания течения расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера были использованы уравнение неразрывности, уравнение движения, реологическое уравнение, уравнение теплопроводности и уравнение энергии. Были приняты следующие допущения: течение расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера – изотермическое, оно имеет установившийся ламинарный характер; расплав представляет собой несжимаемую жидкость; изменением теплопроводности в продольном направлении, силами инерции и гравитации пренебрегаем, скольжение расплава на стенке отсутствует; теплопередача в радиальном направлении происходит только за счет теплопроводности.

Для решения данной математической модели использовали численный метод конечных разностей. В результате было получено уточненные уравнения (2) и (3) для определения средней скорости и температуры

расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера:

$$v_z = \frac{\xi \Delta p \varphi R^2}{8L} \left(1 + k^2 + \frac{1 - k^2}{\ln k} \right), \quad (2)$$

$$T(z) = T_{ст} + \frac{1}{\eta \lambda} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)^{m+1} \frac{(R_{\max} - R_{\min})^{m+3} - y^{m+3}}{2(m^2 + 5m + 6)}. \quad (3)$$

где $k = R_{\min} / R_{\max}$; r, R – текущий радиус и радиус конусно-кольцевого канала матрицы, м; φ – показатель консистенции (текучесть); L – длина

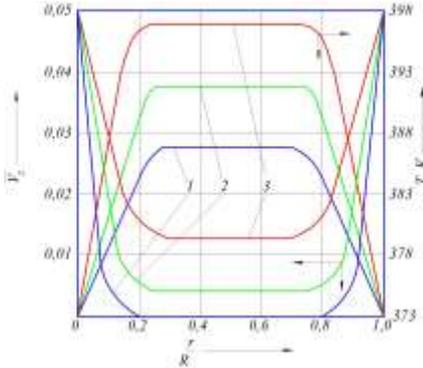


Рисунок 16 – Изменение скорости и температуры расплава в кольцевом канале экспандера при постоянной температуре стенки $T_{ст} = 393$ К и различной длине канала, мм: 1 – 50; 2 – 80; 3 – 110

с экспериментальными показал, что среднеквадратичное отклонение составляет $\sigma^2 = 12,8$ %.

В зоотехнических опытах по оценке эффективности скармливания экспандата использовали цыплят-бройлеров кросса ISA и Смена-7 и куры-несушки кросса Хайсекс белый. Исследование влияния на качество готовой продукции проводили в процессе производства комбикормов по рецептам: ЭК-1 (для кур-несушек 15-18 месяцев) и ЭК-2 (для молодняка кур 5-30 дней). Первая контрольная группа кур-несушек получала рассыпной комбикорм, 2-я – крупку из экспандата, 3-я – крупку из гранулированного экспандата. При проведении опыта учитывали сохранность, живую массу поголовья, расход комбикорма.

выходной зоны, м; ξ – коэффициент конусности; $T_{ст}$ – температура расплава на стенке, К; $\partial p / \partial z$ – градиент давления, Па; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); R_{\min}, R_{\max} – радиус вала шнека и радиус витка шнека, м; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; m – индекс течения.

Сравнительный анализ расчетных скоростей и температуры расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера при постоянной температуре стенки рабочей камеры

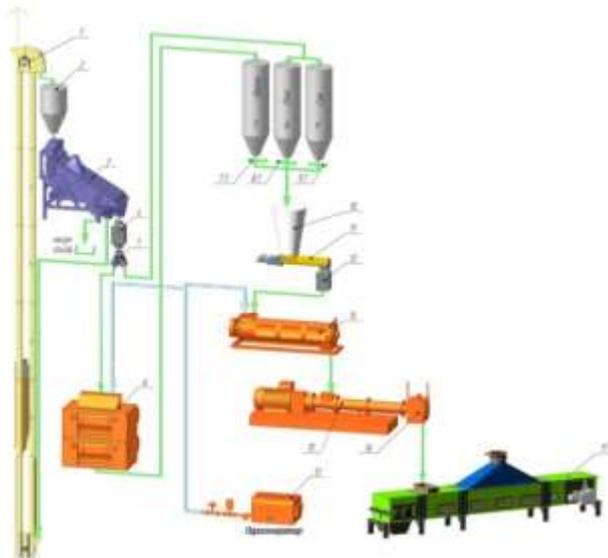


Рисунок 17 – Технологическая схема линии для производства высокобелковых кормовых добавок: 1 – нория; 2 – накопительный бункер; 3 – просеиватель; 4, 12 – колонка магнитная; 5 – перекидной клапан; 6 – шелушитель; 7, 8, 9 – бункеры; 7.1, 8.1, 9.1 – шнековые питатели; 10 – бункер; 11 – шнековый питатель; 14 – кондиционер-пропариватель; 15 – экспандер; 16 - измельчитель; 17 – охладитель

При скармливании курам-несушкам экспандированных комбикормов и гранулированных в виде крупки яйценоскость за 90 дней учетного периода составила 63,6-66,6 яиц, интенсивность яйцекладки 84,8-88,8 %, выход яичной массы 4,2-4,4 кг при затрате корма на 10 яиц 1,64-1,71 кг и 1 кг яичной массы 2,53-2,57 кг. Наибольшая эффективность получена в третьей и четвертой группах, получавших комбикорм в виде крупки из экспандата и крупки из гранул.

Комплект оборудования позволяет производить высокобелковый люпин с содержанием протеина не менее 40 %. Он включает в свой состав следующие виды оборудования: шелушитель, питатель, кондиционер-смеситель, экспандер, измельчитель, охладитель (рисунок 17).

В ходе выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ была разработана конструкторская документация на следующие основные виды технологического оборудования: шелушитель (рисунок 18), кондиционер-пропариватель (рисунок 19), экспандер (рисунок 20), охладитель (рисунок 21).



Рисунок 18 – Центробежный шелушитель



Рисунок 19 – Кондиционер-пропариватель ДКЛ-5



Рисунок 20 – Экспандер ДЭЛ-5



Рисунок 21 – Охладитель ДОО-5

Результатами предлагаемой разработки являются инновационная технология и комплект оборудования для переработки современных сортов люпина при производстве высокобелковых кормовых добавок для различных видов сельскохозяйственных животных и птицы. Они позволяют улучшить усвояемость люпина на 10-12 %, снизить до минимума антипитательные вещества, полностью удалить оболочку зерна, снизить энергозатраты на 18-20 %.

В пятой главе представлена разработанная технология и оборудование для производства экструдированных комбикормов-концентратов для пушных зверей.

Для описания течения расплава в конусно-кольцевом канале матрицы экспандера используем уравнение Навье-Стокса и уравнение неразрывности движения. В программе Flow Vision используется метод конечных объемов для численного решения уравнений конвективно-диффузионного переноса. Программный комплекс позволяет в рабочей области постпроцессора на каждой расчетной плоскости создать слой с палитрой (заливка давления) и выводить окно информации с ассоциированными значениями расчетной переменной. На основании получившейся цветовой гаммы распределения давления по длине конусно-кольцевого канала судили о динамике процесса экструдирования комбикормов (рисунок 22).

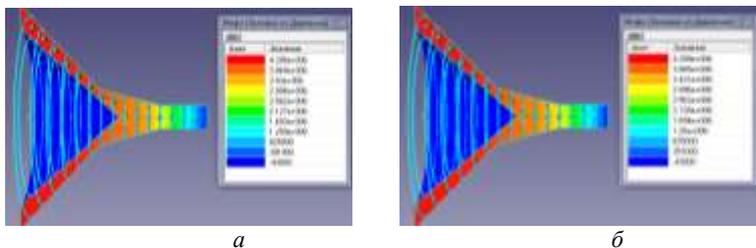


Рисунок 22 – Изменение давления течения расплава продукта плотностью 1210 кг/м^3 по длине сужающегося конусно-кольцевого канала фильеры при частоте вращения шнека, рад/с: *а* – 20; *б* – 30;

Для каждой плоскости был создано два слоя – характеристики скорости и давления. При обработке полученных файлов были построены графические зависимости изменения скорости и давления по длине конусно-кольцевого канала для различных групп комбикормов с различными плотностями с разными угловыми скоростями вращения шнека при параллельном, сужающемся (рисунок 23) и расширяющемся канале между внешней поверхностью конуса шнека и внутренней поверхностью конуса фильеры.

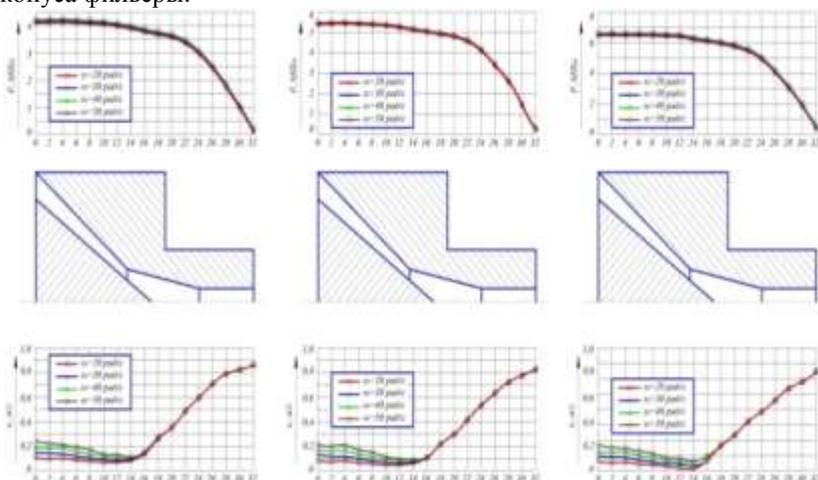


Рисунок 23 – Графические зависимости изменения давления и скорости по длине сужающегося формирующего канала для продукта с различными плотностями: *а* – 1120 кг/м^3 , *б* – 1170 кг/м^3 , *в* – 1210 кг/м^3

Установлено, что оптимальной геометрической формой кольцевого зазора следует считать сужающийся канал образованный наружной

поверхностью конуса шнека и внутренней поверхностью конуса канала фильеры, т.к. именно данная форма канала дает возможность изменить молекулярную структуру продукта за счет создания максимальной величины давления.

Для создания комбикормов, максимально отвечающих потребности пушных зверей в питательных веществах, с помощью программы «Корм Оптима» на основе анализа сырья компонентов комбикорма растительного и животного происхождения были рассчитаны рецепты № 4П и № 5П сухого комбинированного корма для пушных зверей.

Исследование процесса экструдирования зерна исходной влажности показало, что степень декстринизации и перевариваемость крахмала возрастает с увеличением температуры нагрева кукурузы и её смеси с пшеницей до 100-110 °С.

Полученные результаты исследований, показали, что с увеличением влажности комбикорма производительность экструдера уменьшается (рисунок 24). Так, при содержании влаги в комбикорме 12-13 % производительность экструдера составляла 350-370 кг/ч, а удельный расход электроэнергии – 53-56 кВт·ч/т, то при влажности комбикорма 18 % эти показатели увеличивались до 450 кг/ч и 62-63 кВт·ч/т соответственно.

В результате проведенных исследований были получены следующие рациональные режимы работы экструдера: начальная влажность продукта – 19 %; нагрев по зонам экструдера: I зона – 85-95 °С, II зона – 95-120 °С, III зона – 120-135 °С, IV зона – 135-140 °С, V зона – 145 °С; диаметр отверстий в матрице 4-8 мм; давление – 0,65-0,70 МПа.

В результате исследований определялись зависимости изменения температуры гранул от времени их охлаждения для разных диаметров гранул ($d = 6; 8; 10; 12$ мм) при расчетном количестве расхода воздуха на охлаждение. Кроме того, для диаметра гранул равного 10,0 мм анализировался процесс охлаждения при изменении расчетного расхода воздуха на охлаждение (рисунок 25).

Исследование процесса дражирования экструдированных гранул заключались в равномерном перемешивании экструдированных гранул при вводе жидких компонентов через коллектор с несколькими штуцерами, который обеспечивал равномерное распределение жира по поверхности гранул.

В результате были получены следующие рациональные режимы работы дражировочного аппарата: коэффициент заполнения экструдатом камеры аппарата 0,30...0,65; продолжительность перемешивания 120-145 с; частота вращения ротора аппарата 4,19...20,93 с⁻¹; влажность гранул 7,8...27,0 %; содержание жира в гранулах 8...15 %.

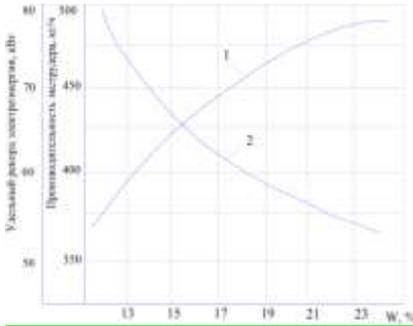


Рисунок 24 – Влияние влажности комбикорма на изменение производительности экструдера и удельного расхода электроэнергии: 1 – производительность экструдера; 2 – удельный расход электроэнергии

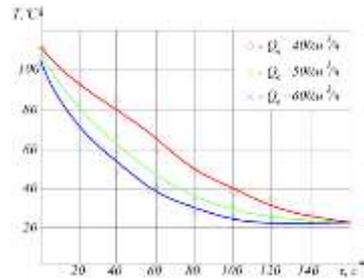


Рисунок 25 – Зависимость температуры гранул от расхода охлаждающего воздуха и времени охлаждения (для диаметра гранул 10 мм)

Для оценки равномерности распределения жировых компонентов по объему гранул и влияние величины вакуума на характер этого распределения были проведены томографические исследования изображений поперечного среза гранул корма для норок (рисунок 26).

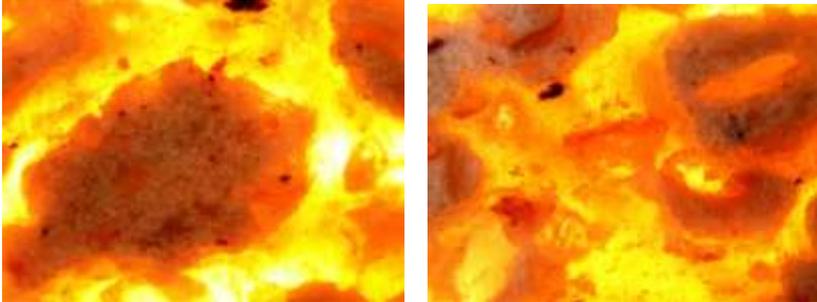


Рисунок 26 – Фотографии поперечного сечения гранул корма для норок: а – экструдированные гранулы без жидких компонентов, б – экструдированные гранулы с вакуумным напылением, произведенные с использованием давления 0,095 МПа

Анализ рисунок 26, а указывает на рельефную поверхность гранул корма для норок и полную гомогенизацию всех компонентов исходной смеси при их экструдировании. Увеличение поверхности гранул способствует наибольшему количеству связываемой жировой композиции. Микологические исследования сырья, экструдированного сырья и комбикормов показывают, что исходная смесь измельченных зерновых компонентов

по рецепту СК-16 из кукурузы, ячменя и отрубей содержала 9000 диаспор грибов, 383 500 бактерий, была нетоксична.

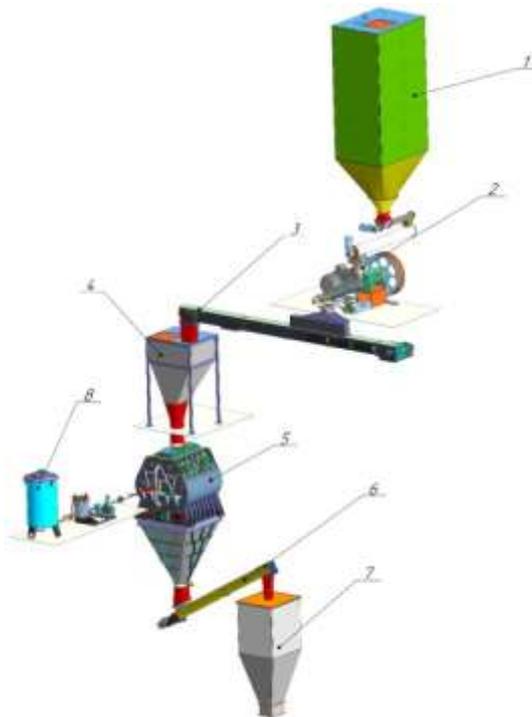


Рисунок 27 - Технологическая схема производства комбикормов для пушных зверей: 1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – сушилка-охладитель; 4 – бункер; 5 – дражировочный аппарат; 6 – конвейер; 7 – бункер готовой продукции; 8 – установка ввода жира

После экструдирования при всех режимах диаспоры грибов полностью уничтожались, количество бактерий снизилось до 100-600 шт.

В результате была разработана технологическая схема производства комбикормов для пушных зверей (рисунок 27). В ходе опытно-конструкторских работ была разработана конструкторская документация на следующие основные виды технологического оборудования: сушилка-охладитель (рисунок 28), смеситель вакуумный (рисунок 29), экструдерная установка (рисунок 30).

В шестой главе представлена разработанные технология и

оборудование для производства комбикормов для ценных пород рыб.

Расчет рецептов экструдированных комбикормов с вакуумным напылением был произведен с помощью программы «ЭкоКорм», также использовали специальные кормовые таблицы.

В качестве объекта исследований были использованы экструдированные гранулы (диаметром от 0,8 мм до 12 мм, с влажностью 6-8 %) с различной рецептурой исходных компонентов (зерновые культуры, отруби, соевый, рапсовый, подсолнечный шрота, рыбная мука, масло, рыбий и животный жир, витамины и др.).



Рисунок 28 - Сушилка-охладитель



Рисунок 29 - Смеситель вакуумный



Рисунок 30 - Экструдерная установка

Эффективный ввод в комбикорма жиров до 35-40 % возможен только при использовании вакуумного напыления. Пористая внутренняя структура позволяет удерживать высокий процент ввода жидкостей.

Основным параметром, определяющим скорость диффузии жидких компонентов, является продолжительность вакуумной компенсации – это время восстановления атмосферного давления в напылителе после вакуумного напыления жидких компонентов на поверхность экструдированных гранул. Выявлено, что вместе с ним интенсивность процесса диффузии зависит также от величины разряжения (пониженного давления) и пористости экструдированных гранул. Было установлено значительное

влияние температуры гранул и величины разряжения в напылителе на коэффициент утечки масла из экструдированных гранул для форели, лосося и осетра (рисунок 31).

В связи с тем, что температура значительно влияет на вязкость жидких компонентов в порах гранул, были проведены исследования по изменению коэффициента утечки масла при температурах 60 °С, 22 °С и 6 °С при $P = 0,030$ МПа (рисунок 31, а). Установлено, что при температуре гранул 60 °С коэффициент изменялся в диапазоне от 6,0 до 4,2 %. Снижение температуры до 22 °С уменьшало коэффициент утечки масла от 3,0 до 1,5 %, а при температуре хранения 6 °С – с 1 до 0,35 %.

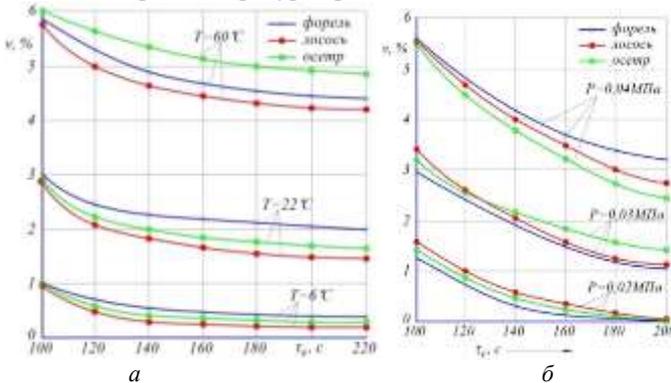


Рисунок 31 – Зависимость коэффициента утечки масла из экструдированных гранул для осетровых рыб от продолжительности вакуумной компенсации при различных температурах (а): 1 – 60 °С; 2 – 22 °С; 3 – 6 °С при $P = 0,030$ МПа; и давлениях (б), МПа: 1 – 0,04; 2 – 0,03; 3 – 0,02

Установлено, что при величинах разряжения менее 0,035 МПа жидкие компоненты глубоко проникали внутрь пор экструдированных гранул. За счет адгезионного удерживания жидкости в порах коэффициент утечки масла в кормах для рыб снижался с 3,3 до 1,3 % при давлении 0,030 МПа и температуре 22 °С (рисунок 31, б). Выполнено обоснование выбора рациональной величины разряжения в напылителе для достижения интенсивной диффузии жидких компонентов. При величине разряжения 0,40 МПа воздух полностью удаляется из пор гранул. Выявлена интенсивность проникновения жидких компонентов вглубь экструдированных гранул в зависимости от величины разряжения (рисунок 32). Установлено, что при разряжении 0,035-0,038 МПа коэффициент утечки масла стремился к нулю. Изменение микроструктуры экструдированных гранул без жидких компонентов (рисунок 33, а) и гранул с вакуумным напылением (рисунок 33, б):

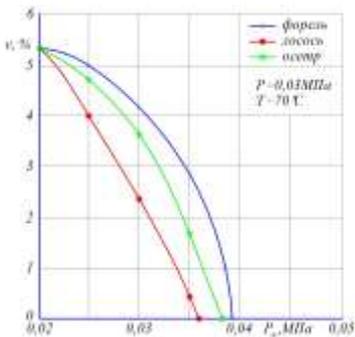
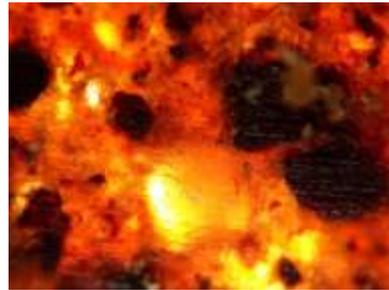


Рисунок 32 – Зависимость коэффициента утечки масла из экструдированных гранул для рыб от величины разряжения в рабочей камере напылителя при температуре 70 °С

свидетельствует о более глубоком и равномерном распределении жира по поверхности поперечного среза гранул. Видно, что жидкие компоненты равномерно заполнили поровое пространство внутри гранул. Анализ выполненных исследований показывает, что более глубокая вакуумизация пространства рабочей камеры напылителя способствовало интенсивному проникновению жидких компонентов вглубь пор экструдированных гранул.



а



б

Рисунок 33 – Фотографии поперечного сечения гранул корма для осетровых рыб: а – экструдированные гранулы без жидких компонентов, б – экструдированные гранулы с вакуумным напылением при давлении $P = 0,035$ МПа

Таким образом, установлено, что величина разряжения в рабочей камере напылителя является важнейшим параметром, влияющим на коэффициент утечки жира, а величина разряжения 0,020 МПа обеспечивает интенсивное проникновение и значительно уменьшает коэффициент утечки жира.

По оценке микробиологических показателей экструдированные комбикорма с вакуумным напылением соответствовали нормам. Предлагаемый экструдированный комбикорм экологически чистый, имеет повышенную питательность, усвояемость и улучшенное санитарное состоя-

ние. Экструдированные комбикорма с вакуумным напылением более водостойки и полностью сохраняют свою форму и структуру, а потери питательности веществ в экструдированных комбикормах уменьшаются за счет нанесения жировых компонентов

Результаты испытания производственного оптимального (ОПФ) комбикорма, в сравнении с кормом фирмы Coppens Steco Pre Grower 18 (45/18) представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Рыбоводно-биологические показатели выращивания форели на комбикорме ОПФ

Показатели выращивания	Опыт корм ФСП	Контроль Coppens Steco Pre Grower 18 (45/18)
Масса тела, г:		
начальная	151,6±5,6	158,4±4,3
конечная	356,8±15,1 *	371,4±18,2*
Среднесуточный прирост, г	2,28	2,36
Выживаемость, %	98,4	96,8
Кормовой коэффициент	1,05	1,08
Период выращивания сут. (сентябрь – ноябрь 2018 г.)	90	90

В результате было разработана линия для производства высокоэффективных комбикормов для рыб ценных пород производительностью 1 т/ч (рисунок 34).



Рисунок 34 – Объемно-планировочное решение линии производства рыбных комбикормов

В ходе опытно-конструкторских работ была разработана конструкторская документация на следующие основные виды технологического оборудования: сушилка конвейерная (рисунок 35), дражировочный аппарат (рисунок 36).

В седьмой главе представлена разработка технологии и оборудования для производства микронизированных хлопьев для стартерных комбикормов. В соответствии с методикой проведения исследований смонтирован стенд для испытаний горелки ГИК-8.



Рисунок 35 – Сушилка конвейерная



Рисунок 36 – Дрожжевой аппарат

На рисунке 37 приведены температуры при работе на биометане (очищенном биогазе). Горелка была зажжена и разогрета, после чего в газовую смесь подмешивался CO_2 с расходом, соответствующим 18, 28 и 34 % CO_2 соответственно. Экспериментально установлена работоспособность горелки инфракрасного излучения ГИК-8 на очищенном биогазе с содержанием CO_2 2,0-34 % и разработана усовершенствованная конструкция горелки для микронизатора с адаптацией ее эксплуатации на биогазе.

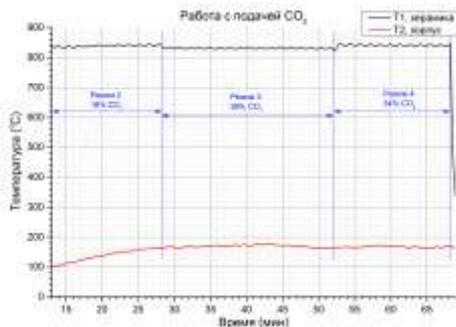


Рисунок 37 – Изменение температуры керамики T_1 и верхней стенки корпуса T_2 в процессе работы горелки

Установлено, что температура греющей поверхности горелки ГИК-8 на газовых смесях с содержанием CO_2 18-34 % составляет 900-950 °С, что не отличается от номинальной температуры при работе на природном газе.

Сущность способа микронизации заключается в быстром нагреве зерна ИК-лучами до 170-180 °С в течение 35-60 с в зависимости от вида зерна и его состояния. В результате за счет скоростного образования паровоздушной смеси из

внутренней влаги зерна происходит его вспучивание. Зерно становится мягким и пластичным. Одним из основных параметров, определяющих режим термообработки при ИК-нагреве зерна, является плотность падающего потока излучения.

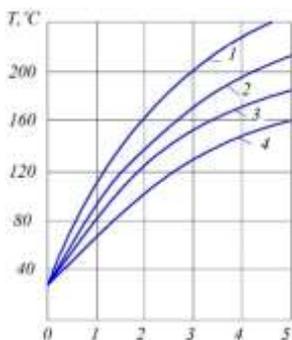


Рисунок 38 – Температурные кривые зерна ячменя, полученные при различных значениях плотности падающего потока излучения в процессе ИК-обработки, кВт/м²: 1 – 20,5; 2 – 16,3; 3 – 12,5; 4 – 8

Критерием оценки плотности падающего потока излучения при поджаривании ячменя служили степень декстринизации крахмала и коэффициент переваримости белка (in vitro), характеризующий отношение переваримости белка к исходному содержанию его в зерне; при микронизации – степень декстринизации крахмала и показатель количества взорванных зерен, составляющий 5-7 % от общего количества обрабатываемого зерна. На рисунке 38 приведены температурные кривые зерна ячменя влажностью 12,7 % при различных значениях плотности падающего потока излучения E в процессе его ИК-обработки. Анализ кривых показывает, что при ИК-обработке ячменя наиболее интенсивный нагрев зерновой массы происходит при плотности падающего потока излучения 20,5 кВт/м². Выявлено, что при плотности потока излучения 16,3 кВт/м², температуре нагрева зерна 170-180 °С и длительности обработки 4 мин в зерне образуется максимальное количество декстринов (до 9,4 %).

Увеличение плотности падающего потока излучения до 20,5 кВт/м², хотя и сокращает длительность обработки зерна до 3,5 мин, но приводит к уменьшению содержания декстринов в зерне (таблица 4).

Т а б л и ц а 4 – Изменение содержания декстринов в зерне ячменя при ИК-обработке и коэффициента переваримости белка (in vitro) в зависимости от плотности падающего потока излучения

Режимы обработки ячменя		Содержание декстринов в зерне, %	Коэффициент переваримости белка, %
Плотность падающего потока ИК-излучения, кВт/м ²	Длительность облучения, мин		
Зерно исходное	-	1,1	77,8
8,0	6,0	8,7	70,8
12,0	5,0	9,2	72,4
16,3	4,0	9,4	76,4
20,5	3,5	7,8	77,2

Установлено, что, для достижения максимальной степени декстринизации крахмала перед ИК-обработкой следует пропаривать зерно до влажности 25 %, а перед микронизацией – до 21 %.

В процессе тепловой обработки белка растительного происхождения претерпевают существенные изменения. В таблице 5 показано влияние ИК-нагрева на фракционный состав белков ячменя.

Т а б л и ц а 5 – Влияние ИК-нагрева на фракционный состав белков ячменя

Образец ячменя	Содержание общего азота, %	Фракционный состав белка, % к общему азоту				Белки нерастворимого остатка, %
		альбумиды	глобулины	проламин	глотелины	
Исходный	2,27	8,49	7,26	23,74	45,32	15,19
Увлажненный	2,27	8,54	7,13	23,20	45,27	15,16
Пропаренный	2,20	2,76	4,21	20,56	43,76	25,10
ИК-обработанный	2,25	3,80	4,54	12,63	48,88	30,15
Увлажненный и ИК-обработанный	2,24	2,87	4,26	9,43	47,43	36,01
Пропаренный и ИК-обработанный	2,12	1,37	2,16	6,00	48,30	38,57
Микронизированный (хлопья)	2,26	5,15	5,62	19,34	45,90	23,99
Увлажненный и микронизированный (хлопья)	2,26	5,37	5,48	18,80	44,10	25,14
Пропаренный и микронизированный (хлопья)	2,24	2,42	4,23	17,12	46,76	28,47

Анализ полученных результатов показывает, что различные способы обработки ячменя практически не изменяют содержания общего азота в зерне. Незначительное снижение общего азота происходит лишь под воздействием самого жесткого режима обработки – пропаривания с последующей ИК-обработкой. Терморadiационный нагрев пропаренного зерна приводит к более резкому снижению количества водо-, соли- и спирторастворимых фракций белка. Уменьшение содержания альбуминов, глобулинов и проламинов в пропаренном с последующей ИК-обработкой ячмене по отношению к исходному составило соответственно 6,2; 3,4 и 3,9 раза, а в пропаренном и микронизированном – 3,5; 1,7 и 1,4 раза. Потеря белком растворимости говорит о его денатурационных изменениях, степень которых возрастает с повышением жесткости режима обработки.

В результате проведенных исследований был разработан и изготовлен комплект оборудования для производства микронизированных хлопьев, который включал в себя бункер, конвейер, магнитный сепаратор, агрегат обжарочный инфракрасный, машина плющильная, охладитель цепной и конвейер выгрузной (рисунок 39).



Рис. 39 – Комплект оборудования для производства микронизированных хлопьев

Рациональный режим инфракрасной обработки, зерна и бобовых, которые поддерживались в процессе работы на микронизаторе, приведены в таблице 6.

В приложении представлены материалы, подтверждающие практическую значимость, экономическую эффективность, апробацию и внедрение результатов работы.

Т а б л и ц а 6 – Режим обработки зерна и бобовых культур на микронизаторе

Вид зерна, бобовых культур	Время обработки, с	Температура зерна на выходе, °С	Влажность, %
Пшеница	40-50	105	18,5
Кукуруза	45-65	120	19,5
Ячмень	50-55	110	19
Овес	40-45	100	20,5
Соевые бобы	65-90	130	13-14
Горох	45-60	115	12-13
Люпин	55-70	125	14

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обоснованы концептуальные подходы к созданию высокоэффективных технологий и перспективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения с программируемыми свойствами для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, направленные на интенсификацию механических, тепловых и массообменных

процессов.

2. Определены реологические и структурно-механические характеристики исследуемых видов высокоусвояемых комбикормов для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

3. Обоснован выбор помощью программы «Корм Оптима» рецептурного состава комбикормов нового поколения, адаптированных для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

4. Выявлены основные кинетические закономерности исследуемых процессов (смешивания, влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, флокирования, вакуумного напыления, охлаждения и др.) компонентов комбикормов нового поколения в широком диапазоне изменения режимных параметров с обоснованием рациональных параметров процессов, обеспечивающих расщепление трудноперевариваемых биополимерных соединений и инактивацию антипитательных веществ зерна, и направленных на повышение усвояемости, поедаемости и доброкачественности комбикормов.

5. Созданы комплекс математических моделей, описывающих исследуемые процессы (влаготепловой обработки, экструдирования, микронизации, вакуумного напыления, охлаждения и др.) при производстве высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб, а также инженерных методик расчетов оборудования (плющилки, кондиционера и др.).

6. Разработаны оригинальные конструкции высокоэффективных видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов нового поколения (смесителя, кондиционера-пропаривателя, экструдеров, микронизатора, сушилки-охлаждителя, плющилки, вакуумного напылителя и др.), инновационные технологии и технологические линии по производству высокоусвояемых комбикормов и разработка нормативно-технической документации.

7. Комплексное исследование показателей качества высокоусвояемых комбикормов нового поколения для сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб.

8. Проведение зоотехнических испытаний разработанных видов высокоусвояемых комбикормов нового поколения с программируемыми свойствами в кормлении сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб для определения эффективности их **потребления** и внедрение разработанных технологий и оборудования.

9. Осуществление промышленной апробации разработанных технологий, линий и видов оборудования для производства высокоусвояемых комбикормов сельскохозяйственных животных, птицы, пушных зверей и ценных пород рыб с технико-экономическим обоснованием эффективности их внедрения в производство.

10. Произведены заводские испытания опытного образца двухвального лопастного смесителя производительностью 1000 кг/ч и производственная проверка эффективности скармливания комбикормов в кормлении поросят на АО «Надежда», в кормлении осетровых рыб в КФХ «Малахов А.Е.», в кормлении норок в Пинском сельскохозяйственном отделении УП «Белкоопмех» и др.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, индексируемых в международных базах цитирования *SCOPUS* и *Web of Science*:

1. Startseva, S.V., Ostrikov, A.N., Bogomolov, I.S., Zheltoukhova, E.Y.U. Studies of the purification process of biogas used for grain micronization (статья в БД Scopus) / 2021, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 640 (2), 022039.
2. Startseva, S.V., Ostrikov, A.N., Bogomolov, I.S., Kopylov, M.V. Experimental studies on the adaptation of micronizer infrared burners for biomethane / Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 640, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials 26-29 February 2020, Voronezh, Russian Federation № 072020.

Учебное пособие

3. Технологическое оборудование жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. Практикум : учебное пособие для вузов / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, М. В. Копылов, И. С. Богомолов ; под редакцией А. Н. Острикова. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 312 с.

Монографии:

4. *Афанасьев В.А.* Методы специальной тепловой обработки сырья и готовой продукции при производстве комбикормов : монография / В. А. Афанасьев, И. С. Богомолов; Воронеж. гос. ун-т инженер. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2020. – 357 с.
5. *Афанасьев В.А.* Совершенствование технологии стартерных комбикормов с использованием плоских хлопьев : монография / В. А. Афанасьев, В. В. Мануйлов, И. С. Богомолов, А. Н. Остриков; Воронеж. гос. ун-т инженер. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2021. – 176 с.

В изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ:

6. Афанасьев, В. А. Исследование влияния режимов экспандирования распыленных комбикормов на их качество / В. А. Афанасьев, И. С. Богомолов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 3 (53). – С. 27-30.
7. Богомолов, И. С. Расчет профиля скоростей и температур расплава в кольцевом канале экспандера / И. С. Богомолов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2013. – № 1 (55). – С. 24-26.
8. Афанасьев, В. А. Современные заводы для производства комбикормов в хозяйствах / В. А. Афанасьев, Е. И. Орлов, И. С. Богомолов // Свиноводство. – 2011. – № 2. – С. 13-16.
9. Афанасьев, В.А. Расчет горелок инфракрасного нагрева микронизатора с использованием биометана. / Афанасьев, В.А. Остриков, А.Н. Богомолов И.С., Нестеров Д.А., Филиппов П.В. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – № 82 (1). – С. 17-26.

10. Афанасьев В.А. Отечественные технические решения в производстве / В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов, Е.Л. Орлов // Комбикорма. – 2016. – № 12. – С. 47-50.
11. Афанасьев В.А. НПЦ «ВНИИКП»: высокоэффективные заводы в блочно-модульном исполнении / В.А. Афанасьев, Е.Л. Орлов, И.С. Богомолов // Комбикорма. – 2019. – № 11. – С. 28-32.
12. Остриков А.Н., Математическое моделирование процесса диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул комбикорма для рыб ценных пород / А. Н. Остриков, И.С. Богомолов, П. В. Филипцов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – № 82 (3). – С. 19-23.
13. Афанасьев В.А., Технология и оборудование для производства комбикормов для ценных пород рыб / В. А. Афанасьев, И.С. Богомолов, А. Н. Остриков, С.В. Старцева // Комбикорма. – 2021. – № 1. – С. 24-28.
14. Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филипцов П.В. Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов / Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 94-101.
15. Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Зобова С.Н., Василенко В.Н., Богомолов И.С. Исследование кинетических закономерностей процесса экструдирования зерновых культур при производстве высокоусвояемых комбикормов с защищенным белком для крупного рогатого скота / Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 44–54.
16. Зобова С.Н., Остриков А.Н., Фролова Л.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе / Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 70**Ошибка! Источник ссылки не найден.**–77.
17. Богомолов, И.С. Исследование процесса сушки зерновых культур / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Ползуновский вестник. – 2021. – № 4. – С. 14-19.
18. Богомолов, И.С. Разработка оборудования для обеззараживания, кондиционирования и инактивации антипитательных веществ зерна / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 10. – С. 619-621.
19. Зобова, С.Н. Разработка математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима / С.Н. Зобова, Л.Н. Фролова, Г.В. Алексеев, А.А. Бирченко, И.С. Богомолов // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 4. – С. 31–36. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-31-36.
20. Богомолов, И.С. Инновационная технология процесса обеззараживания и инактивации антипитательных веществ в комбикормах с использованием жидких компонентов / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Пищевая промышленность. – 2022. – № 1. – С. 32-36.
21. Богомолов, И.С. Эффективность использования экспандированных комбикормов цыплятами-бройлерами / И.С. Богомолов, В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 4. – С. 43–48.

Научно – технические издания:

22. Афанасьев, В.А. Лучшую технику и технологии – производителям комбикормов [Текст] / В. А. Афанасьев, Е. И. Орлов, И. С. Богомолов // Агрокультура. – 2011. – № 1. – С. 36-37.
23. Остриков, А.Н. Экспандирование как способ повышения эффективности АПК [Текст] / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, В. А. Афанасьев, И. С. Богомолов // Комбикорма. – 2013. – № 4. – С. 29-32.
24. Афанасьев, В.А. Отечественные технические решения для комбикормовой отрасли / В.А. Афанасьев, Е.Л. Орлов, И.С. Богомолов // Комбикорма. – 2015. – № 6. – С. 39-42.
25. Афанасьев, В.А. Современные комбикормовые заводы [Текст] / В. А. Афанасьев, Е. И. Орлов, И. С. Богомолов // Комбикорма. – 2011. – № 1. – С. 43-45.
26. Богомолов, И.С. Изучение изменения микрофлоры и сохранности витаминов В2 и Е зерна в процессе пропаривания и плющения [Текст] / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Вестник Алматинского технологического университета, 2021. – № 4. – С. 76-79.
27. Афанасьев, В.А. Реализация кинетических закономерностей в разработанной конструкции экспандера [Текст] / В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов // Адаптация технологических процессов к пищевым машинным технологиям / Материалы Международной научно-технической конференции. – В 3 ч. Ч. 2. – Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж, 2012. – С. 79-81.
28. Богомолов, И.С. Определение эффективности использования комбикормов сельскохозяйственной птицы [Текст] / И.С. Богомолов, В.А. Афанасьев // Производство продуктов для здоровья человека – как составная часть наук о жизни / Материалы Международной научно-технической конференции. – Воронеж: ВГУИТ, 2012. – С. 414-417.
29. Афанасьев, В. А. Влияние параметров процесса экспандирования на биохимические и микробиологические показатели комбикормов [Текст] / В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов // Сборник научных трудов «Наукові праці». Серія «Технічні науки». Одеська національна академія харчових технологій. – Одесса, 2012. – Випуск 42. – Том 1. – С. 95-98.
30. Афанасьев, В. А. Лучшую технику и технологии – производителям комбикормов [Текст] / В.А. Афанасьев, Е.И. Орлов, И.С. Богомолов // Агрокультура. – 2011. – № 1. – С. 36-37.
31. Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С. Разработка технологии и оборудования для производства комбикормов с напылением термолабильных компонентов / Инновационное предпринимательство в цифровой экономике: опыт регионов / Сборник материалов междунар. научно-практ. конф., 24-25 апреля 2020 г. / Воронежский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2020. – С. 116-119.
32. Афанасьев В.А., Богомолов И.С., Остриков А.Н., Копылов М.В., Филищов П.В. Разработка конструкции дражировочного аппарата для вакуумного напыления жировитаминных добавок / Материалы международной научно-тех-

нической конференции «Инженерия перспективного продовольственного машиностроения на основе современных технологий». Под ред. проф. С.Т. Антипова; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – С. 149-152.

33. Афанасьев, В.А. НПЦ «ВНИИКП»: высокоэффективные комбикормовые заводы в блочно-модульном исполнении для всех видов животных и птицы / В.А. Афанасьев, Е.Л. Орлов, И.С. Богомолов // Информационно-аналитический журнал «Сельская Сибирь». – 2019. – № 6 (14). – С. 38-41.

34. А.Н. Остриков, В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов Исследование процесса вакуумного напыления жидких компонентов на экструдированные гранулы аквакормов / Материалы LIX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год [Текст] : В 3 ч. Ч. 2. / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 20-22.

35. В.А. Афанасьев, И.С. Богомолов, П.В. Филиппов Особенности производства экструдированных комбикормов-концентратов для пушных зверей / Материалы LIX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год [Текст] : В 3 ч. Ч. 2. / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 37-38.

36. Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С. Исследование процесса сушки и охлаждения плоских хлопьев / Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений : сборн. статей IX Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 483-487.

37. Богомолов И.С. Комбикормовые заводы АО «ВНИИКП» от проектирования до пуска в эксплуатацию // Тенденции мирового и отечественного производства и использования комбикормовой продукции [Текст] : материалы юбилейной научно-практической конференции / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2018. – С. 106-117.

38. Афанасьев, В.А. Ключевые тренды рынка комбикормов и кормовых компонентов / В.А. Афанасьев, А.Н. Остриков, И.С. Богомолов // Инновационное предпринимательство: вопросы прикладных исследований: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 21-22 мая 2021 г. / редкол.: К.К. Полянский, Э.П. Лесникова; Воронежский филиал РЭУ им. Г. В. Плеханова. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. – С. 98-104.

39. Богомолов И.С. Разработка рецептов комбикормов для пушных зверей // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Теория и практика современной науки» [Электронный ресурс] / Выдавецтва «Навуковы свет», Научно-издательский центр «Мир науки». – Электрон. текст. данн. (1,99 Мб.). – Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки», 2021. – С. 56-60.

40. И.С. Богомолов Исследование кинетических закономерностей процесса экструзии многокомпонентных смесей // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований» [Электронный ресурс] / Баспасы «Академия», Научно-издательский центр «Мир науки». – Электрон. текст. данн. (2,05 Мб.). – Нефтекамск: Научно-

издательский центр «Мир науки», 2021. – С. 29-33.

41. Богомолов И.С. Усовершенствованный комплект оборудования для производства микронизированных хлопьев с использованием биометана / Богомолов И.С., Афанасьев В.А., Остриков А.Н. // Сборник научных статей Международной научно-технической конференции «Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России», Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2021. – С. 20-22 с.

42. Богомолов И.С. Исследование влияния влаготепловой обработки зерна на процесс микронизации / Богомолов И.С. // Сборник научных статей Международной научно-технической конференции «Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России», Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2021. – С. 23-25.

43. Богомолов, И.С. Технология усвояемых комбикормов с программируемыми свойствами / И.С. Богомолов // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (13 ноября 2021 г., г. Волгоград). – Уфа: Аэтерна, 2021. – С. 53-55.

44. Богомолов, И.С. Разработка технологии обеззараживания и инактивации антипитательных веществ в комбикормах / И.С. Богомолов // Технологическая кооперация науки и производства: новые идеи и перспективы развития. (15 ноября 2021 г., г. Воронеж). – Уфа: Аэтерна, 2021. – С. 13-15.

45. Богомолов И.С. Кинетические закономерности процесса перемешивания гранул при нанесении жировитаминных добавок / И.С. Богомолов // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции (12 ноября 2021 года) / редкол.: (отв. ред. Э.А. Пьяникова) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск, 2021. – С. 66-68.

46. Богомолов И.С. Исследование процесса напыления жидких компонентов внутрь экструдированных гранул / И.С. Богомолов // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции (12 ноября 2021 года) / редкол.: (отв. ред. Э.А. Пьяникова) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск, 2021. – С. 69-71.

47. Богомолов, И.С. Исследование процессов пропаривания и плющения злаковых культур / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование» (12 ноября 2021 г.); Юго-Зап. гос. ун-т, Курск, 2021. – С. 55-58.

48. Богомолов, И.С. Изучение влияния процесса плющения зерновых культур [Текст] / И.С. Богомолов, Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование» (12 ноября 2021 г.); Юго-Зап. гос. ун-т, Курск, 2021. – С. 58-61.

49. Афанасьев, В.А. Экологические аспекты использования биогаза, получаемого при переработке отходов животноводческих комплексов / В.А. Афанасьев, А.Н. Остриков, И.С. Богомолов // Безопасность и ресурсосбережение в техносфере: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, 29 апреля 2021 г. – Краснодар: КубГТУ, 2021. – С. 403-406.

50. Богомолов, И.С. Экологизация отходов животноводческих комплексов для получения и использования биометана / И.С. Богомолов, // Научно-практические аспекты развития АПК [Электронный ресурс]: мат-лы национ. науч. конф. Часть 1 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2021. – С. 8-10.

51. Богомолов, И.С. Исследование изменения белково-углеводного комплекса микронизированных хлопьев ячменя при ИК-нагреве [Текст] / И.С. Богомолов, // Научно-практические аспекты развития АПК [Электронный ресурс]: мат-лы национ. науч. конф. Часть 2 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2021. – С. 8-10.

52. Богомолов И.С. Исследование процесса дражирования экструдированных гранул / [Текст] / И.С. Богомолов // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Технологическое предпринимательство, коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности и трансфер технологий». – Пермь, 2021. – С. 48-52.

53. Богомолов И.С. Исследование кинетических закономерностей процесса сушки-охлаждения экструдированных гранул / [Текст] / И.С. Богомолов // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Технологическое предпринимательство, коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности и трансфер технологий». – Пермь, 2021. – С. 52-57.

54. Богомолов И.С. Теплообмен в процессе влаготепловой обработки зернового сырья / [Текст] / И.С. Богомолов Н.Л. Клейменова, М.В. Копылов // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Мат-лы II Международной научной конференции / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. – С. 174-177.

55. Богомолов И.С. Разработка технологического оборудования для производства высокобелковых кормовых добавок / [Текст] / И.С. Богомолов // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Мат-лы II Международной научной конференции / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. – С. 181-185.

56. Богомолов И.С. Влияние процесса экспандирования на биохимические и микробиологические показатели комбикормов / [Текст] / И.С. Богомолов // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Мат-лы II Международной научной конференции / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. С. 185-188.

Патенты на изобретения:

57. Пат. № 2495608 Россия, МПК А 23N 17/00. Экспандер / Афанасьев В.А., Богомолов И.С., Заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности" (ОАО "ВНИИКП") – № 2012121005; заявл. 22.05.2012; опубл. 20.10.2013; Бюл. № 29.

58. Пат. № 2717647 Россия, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства высокобелковых кормовых добавок / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Александров А.И., Нестеров Д.А.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2019122688; заявл. 18.07.2019; опубл. 24.03.2020; Бюл. № 9.

59. Пат. № 2728338 РФ, МПК В02В 3/00. Центробежный шелушитель / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филиппов П.В., Нестеров Д.А.; Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2019125076, Заявл 06.08.2019. Оpubл. 29.07.2020, Бюл. № 22.

60. Пат. № 2728603 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства полнорационных комбикормов / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филиппов П.В., Нестеров Д.А.; Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2019125075, Заявл 06.08.2019. Оpubл. 30.07.2020, Бюл. № 22.

61. Пат. № 2736134 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства комбикормов нового поколения для пушных зверей / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Желтоухова Е.Ю., Богомолов И.С., Филиппов П.В.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101247, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 11.11.2020, Бюл. № 32.

62. Пат. № 2733290 РФ, МПК А01С 1/06. Дражировочный аппарат / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101244, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 01.10.2020, Бюл. № 28.

63. Пат. № 2736133 РФ, МПК А01С 1/06. Комбинированный дражировочный аппарат / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Желтоухова Е.Ю., Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101150, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 11.11.2020, Бюл. № 32.

64. Пат. № 2736389 РФ, МПК F 26 В 17/27. Сушилка / Шевцов А.А., Остриков А.Н., Терехина А.В., Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101149, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 16.11.2020, Бюл. № 32.

65. Пат. № 2739798 РФ, МПК А23К 50/80. Способ производства продукционных экструдированных комбикормов для осетровых рыб / Афанасьев В.А., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Остриков А.Н., Михайлова Н.А. Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101251, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 28.12.2020, Бюл. № 1

66. Пат. № 2740018 РФ, МПК В01D 53/62, В01D 53/48. Комбинированная технологическая линия производства флокированных хлопьев для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных с использованием очищенного биогаза / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Шевцов А.А., Терехина А.В., Филиппов П.В., Богомолов И.С., Сизиков К.А.; Богомолов И.С.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101151, Заявл 10.01.2020. Оpubл. 30.12.2020, Бюл. № 1.

67. Пат. № 2742058 РФ, МПК А23К10/30, А23К 40/30 Комбинированная

технологическая линия производства микронизированных хлопьев для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных с использованием очищенного биогаза / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Шевцов А.А., Терехина А.В., Нестеров Д.А., Богомолов И.С.; Филипцов П.В.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101243. Заявл 10.01.2020. Оpubл. 02.02.2021, Бюл. № 4.

68. Пат. № 2749885 РФ, МПК А23N 17/00. Технологическая линия производства комбикормов нового поколения для пушных зверей / Остриков А.Н., Афанасьев В.А., Богомолов И.С.; Филипцов П.В.; Заявитель и патентообладатель, АО «НПЦ «ВНИИКП». – № 2020101243. Заявл. 10.01.2020. Оpubл. 02.02.2021, Бюл. № 4.

69. Пат. № 2764191 РФ, МПК С1 В02С 13/00. Измельчитель / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Нестеров Д.А., Копылов М.В. заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности» (АО «НПЦ «ВНИИКП») – №2021113284; заявл. 07.05.2021; опубл. 14.01.2022, Бюл. № 2.

70. Пат. № 2764804 РФ, МПК С1 А23N 17/00. Технологическая линия производства высокоусвояемых комбикормов для ранней молоди рыб / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С., Нестеров Д.А., Копылов М.В. заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности» (АО «НПЦ «ВНИИКП») – №2021113285; заявл. 07.05.2021; опубл. 21.01.2022, Бюл. № 3.

Подписано в печать 18.02.2022. Формат 60x84 1x16.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»

ФГБОУ ВО ВГУИТ

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии

394036, Воронеж, пр. Революции, 19