

На правах рукописи



ДЕРКАНОСОВА Анна Александровна

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ
ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛНОРАЦИОННЫХ
КОМБИКОРМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУЧЕННЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК**

Специальности:

05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств,

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 – 2020

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

Научные консультанты: доктор технических наук, профессор
Дранников Алексей Викторович

заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Шевцов Александр Анатольевич

Официальные оппоненты: **Максименко Юрий Александрович**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»), проректор по научной работе и инновациям

Тертычная Татьяна Николаевна
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», профессор

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

Ведущая организация: **АО «Научно-производственный центр
«ВНИИ комбикормовой промышленности»,**
г. Воронеж

Защита состоится «25» декабря 2020 г. в 11⁰⁰ 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 диссертационного 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> «25» сентября 2020 г.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «16» сентября 2020 г.

Автореферат разослан «10» ноября 2020 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук,
на соискание ученой степени доктора наук,
д. т. н., Д212.035.01, проф.

Л.Н. Фролова

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Одной из главных задач Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2020 - 2025 годы является повышение конкурентоспособности отечественной продукции на основе инновационного развития АПК. Комбикормовой промышленности необходимо увеличить объемы производства комбикормов в целях обеспечения продовольственной безопасности страны; проведения и реализации научно-технической политики в области здорового и безопасного питания; создания конкурентоспособного производства в условиях рынка; создания инновационных производств с глубокой комплексной переработкой сырья, экологизации техники и технологии. При получении биологически ценных комбикормов предусматривается применение различных добавок для их обогащения, в том числе хелатных, витаминных, белковосодержащих.

Прогнозируемое увеличение объемов производства комбикормов приведет к увеличению дефицита энергетических ресурсов, поэтому все более остро ставятся вопросы рационального использования энергии, утилизации и рекуперации теплоты в теплотехнологических процессах получения комбикормов, на осуществление которых расходуется до 55 % энергоресурсов.

Значительный вклад в развитие теории и практики комбикормового производства и совершенствование его технологий внесли: Г.А. Егоров, Н.П. Черняев, В.А. Афанасьев, Л.С. Кожарова, Н.И. Кузнецов, И.Г. Панин, Е.Н. Калошина, А.Д. Пелевин, В.М. Шевандина, О.Е. Щербакова, Р. Вертман, Н.И. Денисов, В.А. Крохина, З.И. Сенина, Э.Н. Андервуд, В.Н. Букин, Э. Минделл, Т.Я. Петрова, В.В. Ванин, Н.И. Чернышев, Н.П. Черняев; В.М. Шевандина, И.Г. Панин, Г. Уоркель, Т. Келлер, J. Ward, T. Cunha, K. Behnke, H. Niesar, J. Bruqqemann и др.

Работа проводилась в соответствии с планом НИР кафедры машин и аппаратов пищевых производств ВГУИТ на 2016-2019 гг. «Инновационное развитие техники пищевых технологий: машины, аппараты и биореакторы» № г.р. 01201253 ГРНТИ: 65.13.19; приоритетного направления развития НОЦ ВГУИТ «Энергоресурс» - «Разработка энергосберегающих технологий и оборудования пищевой и химической промышленности»; в рамках гранта Президента Российской Федерации на государственную поддержку молодых российских ученых для врачей МД-8104.2016.11 2016-2018 гг. «Разработка импортозамещающих технологий кормовых средств иммуностимулирующего и пребиотического действия для сельскохозяйственных животных и птицы на принципах энерго- и ресурсосбережения».

Цель диссертационной работы - расширение ассортимента кормовых препаратов на основе создания энергосберегающей и экологически чистой технологии получения и хранения порошкообразных кормовых добавок.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи.

1. Изучение и обоснование выбора сырья растительного происхождения, отходов свеклосахарной и спиртовой промышленности и продуктов микробиологического синтеза природного происхождения как объектов корпоративного производства.

2. Разработка научно-теоретических подходов к энергосбережению за счет комбинированного теплоподвода, рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов с применением замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам. Предложение новых компоновочных решений технологии комбикормов как системы тепломассообменных процессов.

3. Исследование теплофизических, физико-механических свойств свекловичного жома, сока красного клевера, ферментного препарата β -маннаназы и фильтрата барды как объектов переработки.

4. Анализ основных гидродинамических и кинетических закономерностей процесса сушки свекловичного жома и растительного жмыха перегретым паром; процессов баромембранного разделения фильтрата спиртовой барды.

5. Разработка математических моделей: процесса сушки жома свекловичного перегретым паром в активном гидродинамическом режиме; процесса распылительной сушки концентрированного зеленого сока красного клевера, ферментного препарата β -маннаназы с нанесением структурообразующей пленки и фильтрата спиртовой барды.

6. Разработка программно-логических алгоритмов управления технологическими параметрами при получении сыпучей формы холинхлорида на основе сухого свекловичного жома, капсулированных ферментных препаратов, обеспечивающих наименьшие потери теплоты и электроэнергии.

7. Экспериментально-статистический анализ и определение рациональных технологических режимов при проведении процессов сушки жмыха красного клевера, ультрафильтрации β -маннаназы микромицета *Trichoderma harzianum* F114, хранения премикса и белкового концентрата из фильтрата барды.

8. Разработка технологий комплексной переработки сырья растительного происхождения, отходов свеклосахарной и спиртовой промышленности и продуктов микробиологического синтеза природного происхождения.

9. Разработка вертикального и горизонтального мембранных аппаратов, обеспечивающих повышение эффективности мембранного разделения при концентрировании культуральной жидкости, сока красного клевера и фильтрата за счет снижения поляризационной концентрации.

10. Разработка научно-практических подходов к созданию энергоэффективных технологий получения порошкообразных кормовых биодобавок и использование их в составе рецептур полнорационных комбикормов для сельскохозяйственных животных и птиц.

11. Предложение рецептуры высокоэффективных биологически ценных комбикормов, обеспечивающих рост продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы.

12. Проведение комплексного анализа качества комбикормов и премиксов, содержащих кормовые биодобавки из растительного сырья.

13. Выполнение технико-экономического и эксергетического анализа предлагаемых технологий, как системы тепломассообменных процессов.

14. Проведение апробации предлагаемых технических и технологических решений на предприятиях отраслей и обеспечение их коммерциализации.

Научная концепция. Разработка и научное обеспечение подходов и методов ресурсо- и энергосбережения в кормопроизводстве; создание высокоэффективных, экологически безопасных процессов в технологии комбикормов с соответствующим аппаратным оформлением на основе анализа основных гидродинамических, кинетических, тепломассообменных закономерностей и математического моделирования; разработка способов управления технологическими параметрами, обеспечивающих экономию материальных и энергетических ресурсов, высокое качество получаемых кормовых ресурсов.

Научные положения, выносимые на защиту:

- концептуальный подход к созданию ресурсо- и энергосберегающих способов производства кормовых добавок за счет рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов и замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам;

- результаты экспериментальных и теоретических исследований теплофизических, гидродинамических, кинетических закономерностей тепломассообменных процессов комбикормового производства;

- алгоритмы и результаты моделирования исследуемых процессов; определение принципов выбора рациональных режимов технологических процессов, способствующих снижению удельных энергетических затрат, повышению производительности и качества полнорационных комбикормов, расширению ассортимента выпускаемой продукции.

Научная новизна.

1. Сформулированы концептуальные подходы развития тепломассообменных процессов при комбинированном теплоподводе в направлении создания энерго- и ресурсосберегающих способов кормопроизводства, обеспечивающих снижение удельных материальных и энергетических затрат, расширение ассортимента и повышение качества получаемой комбикормовой продукции.

2. На основе кинетических закономерностей разработаны:

- математическая модель процесса сушки свекловичного жома перегретым паром атмосферного давления в активных гидродинамических режимах на основе дифференциальных уравнений А.В. Лыкова, позволяющая определять поля температур и влагосодержание в материале;

- математическая модель процесса распылительной сушки суспензии вегетативной массы растений, позволяющая определять изменение влажности (концентрации СВ) и температуры по радиусу капли в процессе распылительной сушки концентрата ПЗК;

- математическая модель процесса теплопереноса при распылительной сушке ферментного препарата β -маннаназы с нанесением структурообразующей пленки: проведена экспериментальная проверка результатов моделирования;

- математическая модель процесса ультрафильтрации фильтрата барды по определению изменения слоя поляризационной концентрации.

3. Получены критериальные зависимости процесса теплообмена при сушке свежловичного жома в среде перегретого пара.

4. Научно обоснованы ресурсо- и энергосберегающие способы производства кормовых добавок из сырья растительного происхождения при создании безотходных технологий на перерабатывающих предприятиях АПК;

5. Составлены программно-логические алгоритмы функционирования систем управления технологическими процессами кормопроизводства для обеспечения высокого качества готовой продукции и экономии энергетических и сырьевых ресурсов.

6. Использована теория эксергетического подхода к термодинамическому анализу теплотехнических процессов в технологии комбикормов.

Практическая значимость и реализация результатов работы.

Разработаны способ сушки свежловичного жома (пат. РФ № 2346988) и конструкция конвективной сушилки для его реализации (пат. РФ № 2377488), позволяющие интенсифицировать процесс сушки и снизить энергозатраты при сохранении высокого качества готового продукта.

Предложена установка сушки высоковлажных дисперсных материалов (пат. РФ №2603225), алгоритмы управления (пат. РФ № 2581012).

Для производства качественной кормовой витаминной добавки, содержащей витамин В₄, предложен способ получения микрокапсулированного холинхлорида из его водного раствора (пат. РФ № 2640843), разработан способ определения количества холинхлорида в премиксах (пат. РФ № 2412436) и стабилизации показателей качества с помощью средств контроля и управления (пат. РФ № 2356907, 2535559, 2687022).

Разработана энергоэффективная технология комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений (пат. РФ № 2528027), алгоритм управления (пат. РФ № 2603899).

Предложена программа для ЭВМ (свид. Роспатента о гос. регистрации № 2015619721) «Расчет процесса распылительной сушки суспензии вегетативной массы растений».

Проданы лицензии (договоры № РД 0036133 от 16.05.2008 г, № РД 17/20 от 9.07.2020) на право использования интеллектуальной собственности предприятиями ООО «СуперАгро», «ИнтерВетФарм».

Достоверность научных разработок подтверждена промышленными испытаниями предлагаемых способов производства комбикормов и оборудования для их реализации в АО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод», ООО «МИП»; скармливали опытные образцы комбикорма ООО на «Липецкий кролик», КФХ ИП Спиридонов А.В.; исследовали перевариваемость комбикормов получено экспертное заключение БУВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория»; акт внедрения сушильной установки для свекловичного жома (пат. РФ № 2377488).

Предложены рациональные режимы сушки свекловичного жома перегретым паром атмосферного давления (температура перегретого пара 418–428 К; скорость пара в рабочей камере 1,8–2,0 м/с, амплитуда и частота колебаний газораспределительной решетки соответственно 6–8 мм и 12–13 Гц, частота пульсаций колебаний решетки 0,017–0,020 Гц). Проведен экспериментально-статистический анализ и определены рациональные технологические режимы разных процессов: сушка жмыха красного клевера – температура перегретого пара на входе в камеру 400–413 К; скорость перегретого пара 1,8–2,0 м/с; удельная нагрузка на решетку 5–7,5 кг/м²; первоначальная влажность материала 280–300 %; ультрафильтрации β -маннаназы микромицета *Trichoderma harzianum F114*, массовая доля сухих веществ (СВ) в исходном растворе 6,15–7,25 %; активность β -маннаназы в культуральной жидкости 2399,014–2402,500 ед/см³; разрешающая способность мембраны 105,75–189,20 кДа; расход исходного раствора 0,034–0,0354 м³/с; хранение премикса - содержание холинхлорида в премиксе 75–95 г/кг; температура окружающего воздуха в помещении 287–293 К; расход воздуха на поддержание необходимых условий при хранении 9–12 м³/(ч·т); относительная влажность воздуха при хранении 35–40 %; исходная влажность носителя (свекловичного жома) 8,5–10,5 %; белковый концентрат из фильтрата барды - влажность готового продукта 6,7–9,2 %, температура окружающего воздуха на складе 11–15 °С; расход воздуха на поддержание необходимых условий на складе во время хранения 3,7–4,9 м³/(ч·т); относительная влажность воздуха на складе 78–89 %.

Материалы диссертации используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторных занятий по курсам «Процессы и аппараты зерноперерабатывающих предприятий», «Технология комбикормов», «Технологическое оборудование предприятий отрасли».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных, всероссийских научно-практических конференциях и семинарах (Воронеж 2014–2017), (Могилёв, 2008), (Москва, 2008, 2015), (Одесса, 2009), (Барнаул, 2014), (Казань, 2014), (Уфа, 2014), (Иваново, 2014), (Барнаул 2014), (Краснодар, 2015), отчетных научных конференциях ВГУИТ (Воронеж, 2008–2019 гг.), на английском языке (Australia, 2014), (Romania, 2014), (Воронеж, 2020).

Результаты работы представлены на конкурсах и отмечены дипломами: 25-й Межрегиональной специализированной выставки ПРОДТОРГ (26-28 ноября 2008 г., Воронеж); Воронежского промышленного форума (6-8 февраля 2008 г., Воронеж); 2-го Воронежского промышленного форума (2009 г., Воронеж); Воронежского агропромышленного форума (28-30 октября 2009 г., Воронеж), победитель конкурса «Инженерные технологии XXI века» (21 мая 2013 г., Воронеж), «Инновационные технологии в производстве кондитерских, хлебобулочных, макаронных изделий и зернопродуктов» (6 апреля 2014 г., Воронеж), Chef a la Russe (Воронеж, 2015).

Автор является лауреатом премии правительства Воронежской области за лучшую монографию 2020 г. «Научное обеспечение технологий комплексной переработки красного клевера в кормопроизводстве», имеет благодарственное письмо от управы Центрального района городского округа города Воронеж «За многолетний добросовестный труд, заслуги в учебно-методической, научной и воспитательной работе, подготовке высококвалифицированных кадров и в связи с 85-летием университета», 2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 59 научных работ, в т. ч. 2 монографии, 2 учебных пособия, 30 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 15 патентов РФ на изобретения, 1 свидетельства Роспатента о регистрации программ для ЭВМ, 9 статей в БД Scopus и WoS

Структура и объем работы. Диссертация изложена в двух томах. Первый том состоит из введения, семи глав, основных выводов и результатов, списка литературы из 308 наименований, в том числе 55 – на иностранных языках, объемом 360 страница машинописного текста, содержит 162 рисунков и 70 таблиц. Второй том состоит из 7 приложений объемом 193 страницы.

Основное содержание работы

Во введении охарактеризовано современное состояние производства комбикормовой продукции, обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе систематизированы литературные данные о современном состоянии техники и технологии производства кормовых препаратов; рассмотрены теоретические основы процессов тепломассообмена при обработке сырья растительного происхождения; определены основные направления развития производства комбикормовой продукции с использованием кормовых добавок; сформулированы цель и задачи диссертационной работы; обоснован выбор объекта исследования; определены методы решения поставленных задач.

Во второй главе приведены исследования свекловичного жома, красного клевера, фильтрата барды, цеолита с хелатным соединением меди и ферментного препарат β -маннаназы (исследовали чистую культуру микроорганизмов – микромицет *Trichoderma harzianum* F114 - продуцент фермента β -маннаназы)

как объектов производства кормовых добавок; физико-химических свойств свекловичного жома; форм связи влаги сока красного клевера; химического состава и теплофизических характеристик продуктов комплексной переработки красного клевера; аминокислотного состава и антиоксидантной активности протеинового зеленого комплекса, полученного из красного клевера; физико-механических свойств ферментного препарата β -маннаназы и хелатного соединения меди; химического состава фильтрата барды.

С помощью метода наименьших квадратов обработанные данные получили эмпирические зависимости f_{en} и τ_0 от влажности свекловичного жома:

$$f_{en} = 0,53W^{c-0,11}, \quad (1)$$

$$\tau_0 = 33,3W^{c,0,3}. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) справедливы в интервалах $W^c = 13-900 \%$; $\sigma = 100-1000$ Па. Расхождение с опытными данными в этих интервалах не более 5 %.

Закономерности теплового воздействия на зеленый сок изучали методом оценки термогравиметрических кривых, где участок кривой изменения массы ТГ (рисунок 1), который соответствует процессу дегидратации, преобразуется в зависимость степени превращения вещества α от температуры T . На кривой ТГ находят изменение массы Δm_i при определенных значениях температуры, которые соответствуют количеству испарившейся влаги при температуре T_i .

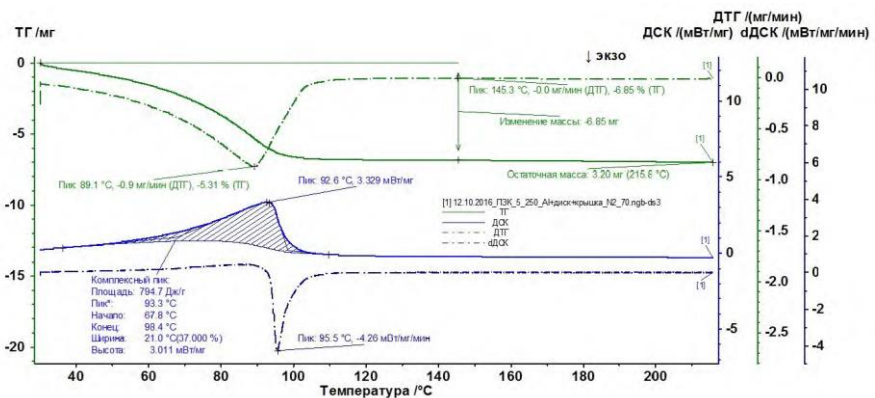


Рисунок 1 - Дериватограмма зеленого сока

По полученным данным установили 3 этапа испарения влаги и преобразования сухих веществ при тепловой обработке на концентрированный зеленый сок и определили температурные интервалы, соответствующие испарению влаги с различной энергией и формой связи.

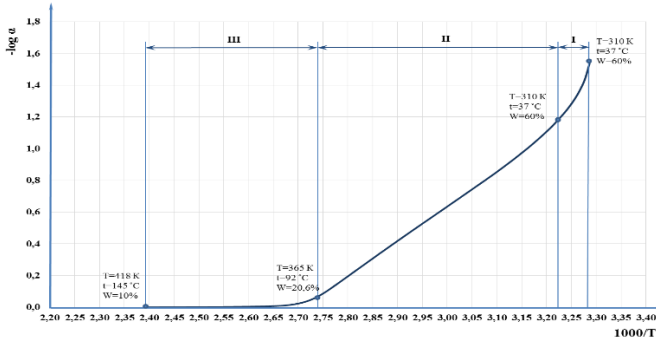


Рисунок 2 – Зависимость $-\lg \alpha$ от величины $10^3/T$ исследуемого концентрированного сока при нагревании со скоростью роста температуры 5 К/мин

В третьей главе приведены экспериментальные исследования гидродинамики и кинетики процесса конвективной сушки свекловичного жома перегретым паром атмосферного давления в импульсном виброкипящем слое, которые проводились при следующих режимных параметрах: температура перегретого пара на входе в рабочую камеру $T_n = 393\text{--}453$ К, скорость пара в рабочей камере $v_n = 1\text{--}3$ м/с, амплитуда (a) и частота (f) колебаний газораспределительной решетки оставались неизменными и составляли 7 мм и 12,5 Гц, частота пульсаций колебаний решетки изменялась от $f_n = 0,0083$ (одна пульсация в 2 минуты) до $f_n = 0,04$ Гц (одна пульсация в 25 секунд), начальная удельная нагрузка жома на решетку $q = 12,5\text{--}42,0$ кг/м², начальная влажность жома в пересчете на сухое вещество 500 %.

График зависимости перепада давления перегретого пара в слое материала от времени при различных удельных нагрузках на газораспределительную решетку имеет характерные участки (рисунок 3), представляющие собой переход слоя из псевдооживленного состояния в виброкипящее (участок А), далее виброкипение (участок Б) и повышение перепада давления в слое после прекращения вибраций (участок В) с последующим постепенным его снижением за счет уменьшения влажности жома (участок Г).

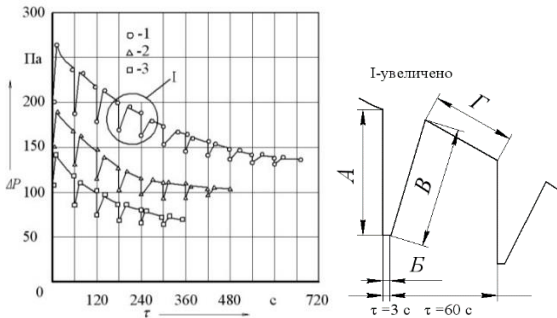


Рисунок 3 – Зависимость перепада давления (ΔP) в слое свекловичного жома от времени (τ) при различных удельных нагрузках на газораспределительную решетку, кг/м²:
1 – 42; 2 – 25; 3 – 12,5;
 $f_n = 0,017$ Гц

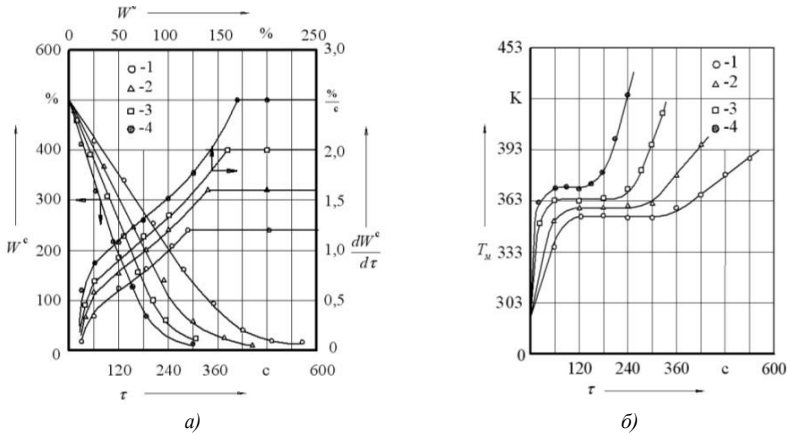


Рисунок 4 – Кривые сушки $W^c = f(\tau)$ и скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ свекловичного жома а); кривые нагрева $T_M = f(\tau)$ свекловичного жома б) при различных температурах перегретого пара, К: 1 – 393; 2 – 413; 3 – 433; 4 – 453; $v_n = 2$ м/с; $q = 25$ кг/м³; $f_n = 0,017$ Гц

Анализ кинетических кривых (рисунок 4) показывает наличие периодов постоянной и убывающей скорости сушки. При этом большая часть влаги удаляется в первый период сушки. Это объясняется развитой пористой структурой жома, которая содержит значительное количество влаги в макрокапиллярах.

Установлено влияние параметров процесса на интенсивность сушки свекловичного жома. Согласно кривым нагрева свекловичный жом прогревается до постоянной температуры очень быстро. При увеличении температуры перегретого пара (T_n) с 393 до 453 К, скорость сушки возрастает в 2 раза. При увеличении скорости теплоносителя (v_n) с 1 до 3 м/с скорость сушки возрастает всего на 25 %, а при увеличении частоты пульсаций колебаний решетки (f_n) с 0,0083 до 0,0400 Гц скорость сушки возрастает в 1,8 раза.

Сушка перегретым паром в импульсном виброкипящем слое интенсифицирует процесс за счет высоких коэффициентов тепло- и массообмена, обеспечивает равномерность высушивания по объему слоя и препятствует истиранию частиц жома вследствие кратковременных периодических воздействий газораспределительной решетки на слой продукта.

Математическая обработка экспериментальных данных по сушке свекловичного жома перегретым паром в импульсном виброкипящем слое в условиях изменения гидродинамического и теплового режимов позволила получить критериальные уравнения теплообмена:

- для периода постоянной скорости сушки

$$Nu = 18,8 Re^{0,22} \left(\frac{t_n}{t_M} \right)^{-0,75} \varepsilon^3 \left(\frac{\tau_n}{\tau_{виб}} \right)^{-0,37} \quad (4)$$

- для периода убывающей скорости сушки

$$Nu = 20,4Re^{0,18} \left(\frac{t_n}{t_m} \right)^{-1} \varepsilon^{2,67} \left(\frac{\tau_n}{\tau_{\text{аиб}}} \right)^{-0,38} \left(\frac{W}{W_{\text{кр}}} \right)^{0,46} \quad (5)$$

Отклонение результатов, полученных по формулам (4) и (5), от экспериментальных не превышает 15,2 %. Данные уравнения можно использовать при проектировании полупромышленных и промышленных сушильных установок для свекловичного жома при соблюдении гидродинамического, теплового подобия и с учетом масштабного перехода.

Предложена математическая модель процесса сушки свекловичного жома перегретым паром в активном гидродинамическом режиме при следующих упрощающих допущениях:

- распределение полей температуры и влагосодержания рассматривали в частице жома, представленной неограниченной пластиной толщиной $2R$ в координатах (x, τ) , т.е. $t = t(x, \tau)$, $u = u(x, \tau)$;

- не учитывали усадку и градиент давления;

- использовали зональный метод расчета процесса сушки, с которым на временных интервалах $\Delta\tau_j = \tau_j - \tau_{j-1}$ ($\tau_{j-1} < \tau_j$, $j, \tau_0=0, \tau_k$ - время сушки) геометрическая форма высушиваемой частицы продукта, начальное распределение температуры и влагосодержания по ее объему, ее плотность, теплофизические и массообменные параметры принимались постоянными.

В этих условиях процесс сушки частицы жома описывался системой дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка:

$$c_m \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (7)$$

с граничными условиями второго рода

$$-\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=R} + q_n(\tau) = 0; \quad (8)$$

$$a_m \rho_0 \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=R} + a_m \rho_0 \delta \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=R} + j_n(\tau) = 0, \quad (9)$$

с начальными условиями

$$t(x, 0) = f_1(x), u(x, 0) = f_2(x) \quad (10)$$

и условиями симметрии

$$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=0}. \quad (11)$$

После преобразований (3)–(8) в безразмерном виде получено

$$\frac{\partial T(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(X, Fo)}{\partial X^2} - Ko^* \frac{\partial U(X, Fo)}{\partial Fo}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial U(X, Fo)}{\partial Fo} = Lu \frac{\partial^2 U(X, Fo)}{\partial X^2} - LuPn \frac{\partial^2 T(X, Fo)}{\partial X^2}, \quad (13)$$

$$T(X, 0) = \frac{f_1(x, 0) - t_n}{t_k - t_n} = F_1(X), \quad (14)$$

$$U(X, 0) = \frac{u_n - f_2(x, 0)}{u_n - u_p} = F_2(X), \quad (15)$$

$$-\left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=1} + Ki_q = 0, \quad (16)$$

$$-\left. \frac{\partial U}{\partial X} \right|_{X=1} + Pn \left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=1} + Ki_m = 0, \quad (17)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=0} = \left. \frac{\partial U}{\partial X} \right|_{X=0}. \quad (18)$$

Методом совместного применения интегральных преобразований Фурье и Лапласа получена алгебраическая система уравнений:

$$\begin{cases} (s + \mu^2) T_{cL} + sKoU_{cL} = (-1)^n \{Ki_q(Fo)\}_L + T_{oc} + KoU_{oc}; \\ -LuPn\mu^2 T_{cL} + (s + Lu\mu^2) U_{cL} = (-1)^n Lu \{Ki_m(Fo)\}_L + U_{oc}, \end{cases} \quad (19)$$

где
$$\{Ki_k\}_L = \int_0^\infty Ki_k(Fo) \exp(-sFo) dFo; \quad k = \begin{cases} 1 & \text{или } q \\ 2 & \text{или } m \end{cases}.$$

Система (19) решена относительно потенциалов $T_{cL}(\mu, s)$ и $U_{cL}(\mu, s)$ с переходом их к оригиналам по параметру s . Приняв, что начальное распределение потенциалов переноса постоянно по сечению частицы и удельные потоки теплоты и вещества на поверхности жема постоянны в пределах малого промежутка времени, для задачи (12)–(18) получено решение в следующем виде:

$$\begin{aligned} T(X, Fo) &= (Ki_q - Ko^* LuKi_m) Fo - \frac{1}{6} (1 - 3X^2) Ki_q - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 (-1)^n \frac{2}{\mu_n^2} C_i^q \cos \mu_n X \exp(-\mu_n^2 v_i^2 LuFo); \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} U(X, Fo) &= Ki_m LuFo - \frac{1}{6} (1 - 3X^2) (PnKi_q + Ki_m) - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 (-1)^n \frac{2}{\mu_n^2} C_i^q \cos \mu_n X \exp(-\mu_n^2 v_i^2 LuFo), \end{aligned} \quad (21)$$

где

$$\left. \begin{aligned} C_1^q &= \frac{Ki_q(v_2^2 - 1/Lu) + Ko * Ki_m}{v_2^2 - v_1^2}; & C_2^q &= \frac{Ki_q(v_1^2 - 1/Lu) + Ko * Ki_m}{v_2^2 - v_1^2}; \\ C_1^m &= \frac{PnKi_q v_2^2 - (1 - v_2^2)Ki_m}{v_2^2 - v_1^2}; & C_1^m &= \frac{PnKi_q v_1^2 - (1 - v_1^2)Ki_m}{v_2^2 - v_1^2}; \end{aligned} \right\}$$

$$v_i^2 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + Ko * Pn + \frac{1}{Lu} \right) + (-1)^i \sqrt{\left(1 + Ko * Pn + \frac{1}{Lu} \right)^2 - \frac{4}{Lu}} \right], (i=1,2).$$

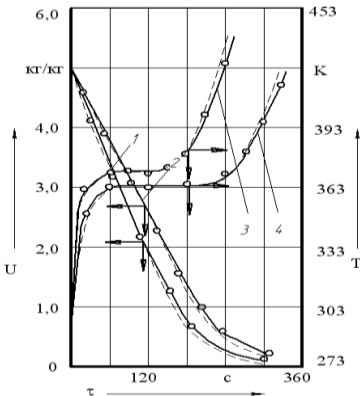


Рисунок 5 – Кривые сушки $U = f(\tau)$ и нагрева $T = f(\tau)$ свежескопленного жома при различных температурах перегретого пара, К: 1 – 453; 2 – 433; 3 – 453; 4 – 433
(- - - расчет; — эксперимент)

Методом машинного эксперимента осуществлена идентификация параметров модели по экспериментальным данным (рисунок 5).

Идентификации подвергались коэффициенты: массопроводности (a_m), теплопроводности (λ), термодиффузии (δ) и превращения (ε). Для средних значений $\bar{a}_m = 22 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$; $\bar{\lambda} = 0,385 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\bar{\delta} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $\bar{\varepsilon} = 0,018$ обеспечена достаточная сходимость результатов, при которой отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышало по абсолютному значению 8,5 %.

Представлены исследования кинетики процесса сушки жома красного клевера на экспериментальной сушильной установке перегретым паром атмосферного давления в активных гидродинамических режимах: температура перегретого пара $T_n = 393\text{--}423 \text{ К}$, скорость перегретого пара $v_n = 1\text{--}3 \text{ м/с}$, удельная нагрузка $q = 2,5\text{--}15,0 \text{ кг/м}^2$.

Кинетические закономерности процесса сушки представлены кривыми сушки и скорости сушки, а также кривыми нагрева в широком диапазоне изменения режимных параметров (рисунок 6, 7).

Увеличение температуры перегретого пара T_n на входе в сушильную камеру с 393 до 423 К приводит к возрастанию скорости сушки жома красного клевера на 50 %, а увеличение скорости перегретого пара в 3 раза (от 1 до 3 м/с) способствует возрастанию скорости сушки лишь на 20 % (рисунок 6, 7).

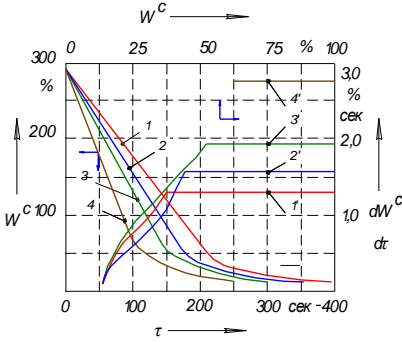


Рисунок 6 – Кривые сушки $W^c = f(\tau)$ (1-4) и скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ (1'-4') жома клевера при различных температурах перегретого пара, К: 1-393; 2-403; 3-413; 4-423; $q=5$ мг/м²; $v_n=2$ м/с

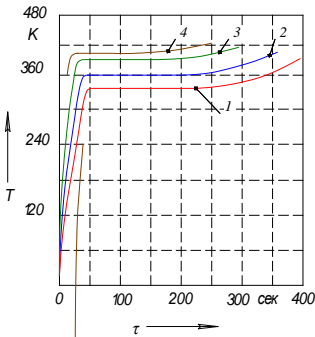


Рисунок 8 – Кривые нагрева $T_n = f(\tau)$ жома красного клевера при различных температурах перегретого пара, К: 1-393; 2-403; 3-413; 4-423; $q=5$ мг/м²; $v_n=2$ м/с

В четвертой главе приведены результаты исследований процесса ультрафильтрации культуральной жидкости *Trichoderma harzianum* F114 на пилотной установке мембранной фильтрации.

После запуска системы на воде, заменяли воду на продукт в баке исходного раствора. Этим способом воду замещали в системе, в трубчатом мембранном модуле шел постепенный рост растворенных веществ.

В ходе экспериментальных исследований изучены кинетические закономерности процесса ультрафильтрации культуральной жидкости (рисунок 9) при следующих исходных параметрах: содержание сухих веществ в культуральной жидкости – 6,5 %, давление в ходе процесса составляло 200 кПа, мембрана со средним размером пор 0,017 мкм, внешний диаметр канала мембраны – 10 мм, длина мембраны – 1178 мм.

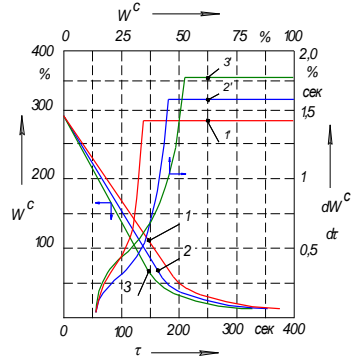


Рисунок 7 – Кривые сушки $W^c = f(\tau)$ (1-3) и скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ (1'-3') жома клевера при различных скоростях перегретого пара, м/с: 1-1; 2-2; 3-3; $q=5$ мг/м²; $T_n=403$ К

Характер изменения температуры частиц жома красного клевера, наблюдаемый на кривых нагрева (рисунок 8), соответствует периодам постоянной и убывающей скорости сушки.

Материал прогревается до постоянной температуры очень быстро. Это обусловлено малым характерным размером частиц объекта сушки, высокими коэффициентами теплообмена, а также протеканием сушки в активных гидродинамических режимах.

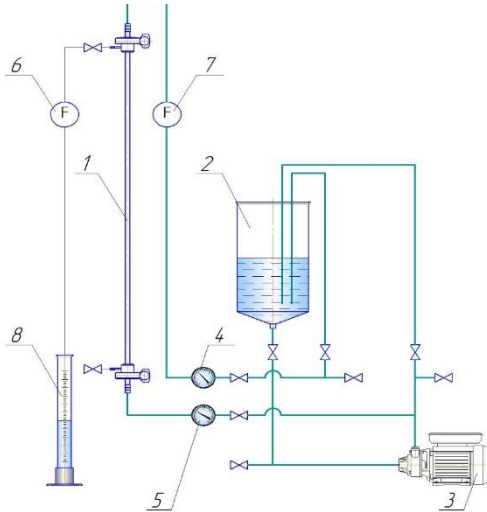


Рисунок 9 – Схема пилотной установки для ультрафильтрации β -маннаназы микровицета *Trichoderma harzianum F114*:

1 – трубчатый мембранный модуль с мембраной; 2 – емкость исходного раствора; 3 – насос; 4, 5 – манометры; 6, 7 – расходомеры; 8 – приемный мерный цилиндр

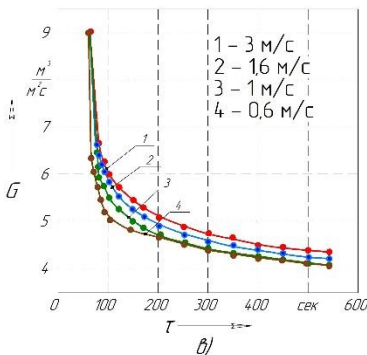
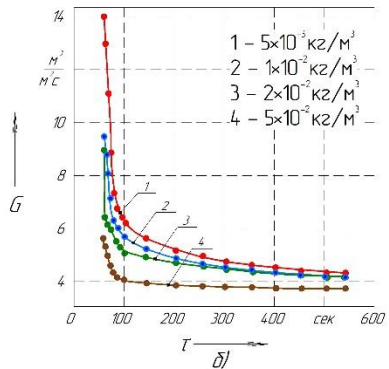
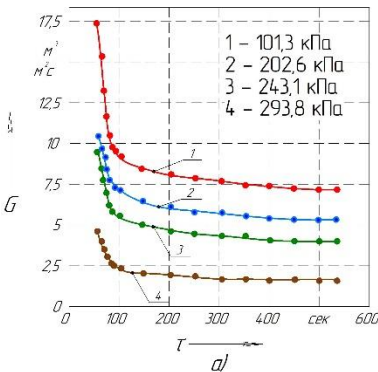


Рисунок 10 – Зависимость проницаемости мембраны (G) от времени (τ) фильтрации культуральной жидкости:

a – при различном трансмембранном давлении; b – при различной концентрации растворенного вещества; v – при различной скорости потока.

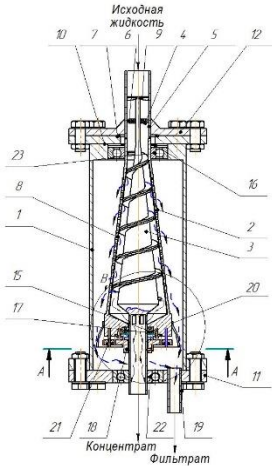


Рисунок 11 – Вертикальный мембранный аппарат

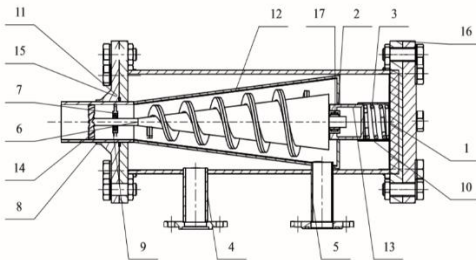


Рисунок 12 - Горизонтальный мембранный аппарат

На рисунке 11 дан вертикальный мембранный аппарат, который позволяет обеспечить повышение эффективного мембранного разделения при концентрировании культуральной жидкости за счет снижения поляризационной концентрации перед ее подачей на распылительную сушку.

По результатам исследований предложен высокоэффективный мембранный аппараты для сгущения фильтрата барды, обеспечивающие снижение влияния концентрационной поляризации на производительность (рисунок 11).

Рисунок 12 – Мембранный аппарат: 1 – корпус; 2 – трубчатый мембранный модуль; 3 – пружина сжатия; патрубки: 4 – вывода концентрата и 5 – фильтрата, 8 – ввода исходного раствора; 6 – турбулизатор; 7, 17 – подшипники; 10 – стакан; 11 – прокладка; 12 – полупроницаемая мембрана; 13 – кожух; 14 – пропеллер; 15, 16 – фланцы.

Пятая глава посвящена математическому моделированию процесса распылительной сушки суспензии вегетативной массы растений, основанному на убывающем фронте испарения в периодах постоянной и убывающей скорости сушки.

Моделирование процесса сушки проводилось с учетом следующих упрощающих допущений: капли имеют сферическую форму; кондукция является механизмом передачи теплоты внутри капли; внутренний радиус капли постоянен; удаление свободной воды на поверхности задается уменьшением внешнего радиуса капли; влажность, температура и скорость воздуха, окружающего каплю, постоянны; отсутствует физическое или химическое взаимодействие между твердыми частицами и влагой; температура капли изменяется только в радиальном направлении; на границе фронта испарения устанавливается состояние теплового и концентрационного равновесия; теплота передается конвективно к поверхности капли; закон диффузии Фика с эффективным коэффициентом диффузии описывает диффузию паров воды через поры области связанной влаги.

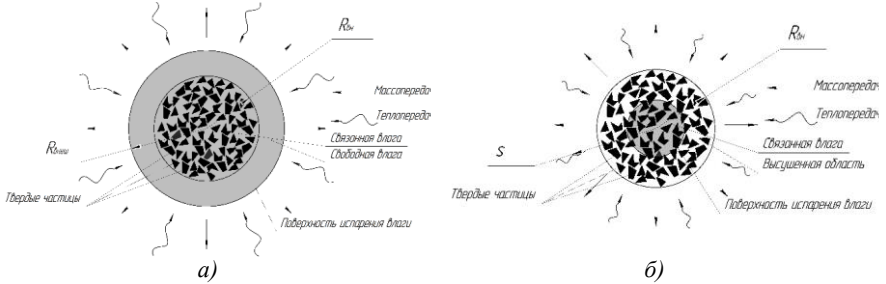


Рисунок 13 – Сушка капли: *а* – в период постоянной скорости; *б* – в период убывающей скорости

В периоде постоянной скорости сушки теплота передается конвекцией от окружающего воздуха к поверхности капли и вызывает испарение свободной воды, пока она не будет полностью удалена (рисунок 13, *а*). Водяной пар с поверхности капли удаляется путем конвекции.

В области связанной влаги использовалось уравнение (22).

Для $0 < r < R_{\text{вн}}, t > 0$

$$k_1 \frac{\partial T_{\text{св}}}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_{\text{св}}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_{\text{св}}}{\partial r}, \quad (22)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{\varepsilon \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} + (1 - \varepsilon) \rho_{\text{т}} c_{\text{т}}}{\lambda_{\text{св}}}.$$

$$\text{с начальными условиями: } 0 < r < R_{\text{вн}}, t = 0 \Rightarrow T_{\text{св}} = T(0) \quad (23)$$

и граничными условиями в центре и на внутреннем радиусе капли:

$$r = 0, t > 0 \Rightarrow -\lambda_{\text{св}} \frac{\partial T_{\text{св}}}{\partial r} = 0; \quad (24)$$

$$r = R_{\text{вн}}, t > 0 \Rightarrow T_{\text{св}} = T_{\text{в}}.$$

В области свободной влаги использовалось уравнение (25).

Для $R_{\text{вн}} < r < R_{\text{внеш}}(t), t = 0$

$$k_2 \frac{\partial T_{\text{в}}}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_{\text{в}}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_{\text{в}}}{\partial r}, \quad (25)$$

$$\text{где } k_2 = \frac{\rho_{\text{в}} c_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}}.$$

$$\text{С начальным условием: } R_{\text{вн}} \leq r \leq R_{\text{внеш}}(t), t = 0 \Rightarrow T_{\text{в}} = T(0); \quad (26)$$

и двумя граничными условиями:

$$r = R_{\text{вн}}, t > 0 \Rightarrow -\lambda_{\text{св}} \frac{\partial T_{\text{св}}}{\partial r} = -\lambda_{\text{в}} \frac{\partial T_{\text{в}}}{\partial r}; \quad (27)$$

$$r = R_{\text{внеш}}(t), t > 0 \Rightarrow L_{\text{в}} \rho_{\text{в}} \frac{R_{\text{внеш}}}{t} = \alpha_{\text{са}} (T_{\text{в}} - T_{\text{са}}) + \lambda_{\text{в}} \frac{\partial T_{\text{в}}}{\partial r}.$$

В период убывающей скорости сушки (рисунок 13, б) при существенном углублении фронта испарения влаги, который делит каплю на область связанной влаги и область твердых частиц, получены следующие уравнения.

Для области твердых частиц при $0 < r < s(t), t > 0$

$$m_1 \frac{\partial T_{c\phi}}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_{c\phi}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_{c\phi}}{\partial r}, \quad (28)$$

где $m_1 = \frac{\varepsilon \rho_B c_\phi + (1-\varepsilon) \rho_T c_T}{\lambda_{c\phi}}$,

- начальное условие: $0 \leq r \leq s(t), t = 0 \Rightarrow T_{c\phi} = T(t)$, (29)

- граничные условия:

$$\forall r = 0, t > 0 \Rightarrow -\lambda_{c\phi} \frac{\partial T_{c\phi}}{\partial r} = 0; \quad (30)$$

$$\forall r = s(t), t > 0 \Rightarrow T_{c\phi} = T_{\phi 0}.$$

Уравнение тепломассопереноса высушенной части капли в области связанной влаги при $s(t) < r < R_{\text{вн}}, t > 0$:

$$m_2 \frac{\partial T_{\phi 0}}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T_{\phi 0}}{\partial r} \right) + \frac{m_3}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 T_{\phi 0} \frac{\partial C_n}{\partial r} \right), \quad (31)$$

где $m_2 = \frac{(1-\varepsilon) \rho_T c_T}{\lambda_{\text{во}}}$; $m_3 = \frac{D_{\phi 0} M_B C_n}{\lambda_{\phi 0}}$; $D_{\text{во}} = \frac{2\varepsilon D_{\text{п}}}{3-\varepsilon}$, $\lambda_{\text{во}} = \varepsilon \lambda_{\text{см}} + (1-\varepsilon) \lambda_T$,

с начальным условием: $s(t) \leq r \leq R_{\text{вн}}, t = 0 \Rightarrow T_{\text{во}} = T_T$ (32)

и с граничными условиями:

$$r = s(t), t > 0 \Rightarrow \varepsilon \rho_B L_B \frac{\partial s}{\partial t} = -\lambda_{\text{во}} \frac{\partial T_{\text{во}}}{\partial r} + \lambda_{c\phi} \frac{\partial T_{c\phi}}{\partial r}; \quad (33)$$

$$r = R_{\text{вн}}, t > 0 \Rightarrow -\lambda_{\text{во}} \frac{\partial T_{\text{во}}}{\partial r} = \alpha_{ca} (T_{\phi 0} - T_{ca}).$$

Для решения уравнения теплового баланса водяного пара в порах в области связанной влаги составлено уравнение для элементарного объема:

$$\frac{\partial}{\partial t} [\varepsilon M_B C_{\text{п}}] = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 j_{\text{во}} \right), \text{ для } s(t) < r < R_{\text{вн}}, t > 0, \quad (34)$$

где $j_{\text{во}} = -D_{\text{во}} M_B \frac{\partial C_{\text{п}}}{\partial r}$

Начальные и граничные условия, необходимые для решения уравнения (35):

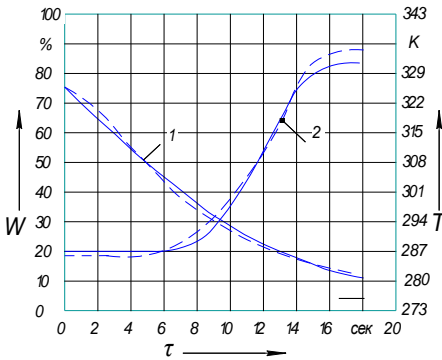
$$s(t) \leq r \leq R_{\text{BH}}, t = 0 \Rightarrow C_{\text{II}} = \frac{P^{\text{II}}(T_{t,0})}{R_{\text{ca}} T_{t,0}};$$

$$r = s(t), t > 0 \Rightarrow C_{\text{II}} = \frac{P^{\text{II}}(T_{\text{Bo}})}{R_{\text{ca}} T_{\text{Bo}}}; \quad (35)$$

$$r = R_{\text{BH}}, t > 0 \Rightarrow -D_{\text{Bo}} \frac{\partial C_{\text{II}}}{\partial r} = \beta_{\text{cm}} (C_{\text{II}} - C_{\text{ca}}).$$

Баланс массы на поверхности испарения $r = (t), t > 0$ определяется уравнением:

$$\varepsilon \rho_{\text{B}} \frac{\partial s}{\partial t} = D_{\text{K}} M_{\text{B}} \frac{\partial C_{\text{II}}}{\partial r}. \quad (36)$$



1 – кривые сушки ПЗК, 2 – кривые нагрева;
– модель; - - эксперимен

Рисунок 14 – Сравнение расчетных и экспериментальных кривых сушки ПЗК и кривых нагрева при $T_{\text{ca}} = 373\text{K}$, $W_{\text{н.пзк}} = 75\%$

Модель процесса распылительной сушки концентрата зеленого сока (22-36) решена методом конечных разностей с погрешностью результатов моделирования 12 % (рисунок 14) и позволяет определять изменение влажности (концентрации СВ) и температуры по радиусу капли в процессе распылительной сушки концентрата ПЗК, что необходимо как для выбора геометрических размеров сушилки, так и для управления технологическими параметрами процесса сушки.

Процесс распылительной сушки капсулированных ферментных препаратов со структурообразующей пленкой. В основу моделирования легла краевая задача теплопроводности в следующем виде:

$$\frac{\partial T_1(r, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_1(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1(r, \tau)}{\partial r} \right], \tau > 0, 0 \leq r \leq R_1, \quad (37)$$

$$\frac{\partial T_2(r, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2(r, \tau)}{\partial r} \right], \tau > 0, R_1 \leq r \leq R_2 = R_1 + h, \quad (38)$$

$$T_1(r, 0) = t_c - t_{10} - \frac{\beta \Delta P \Gamma^*}{a} = T_{10}; \quad T_2(r, 0) = t_c - t_{20} - \frac{\beta \Delta P \Gamma^*}{a} = T_{20}, \quad (39)$$

$$\frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial r} = 0; \quad T_1(0, \tau) \neq +\infty, \quad (40)$$

$$K_\lambda \frac{\partial T_1(R_1, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial T_2(R_1, \tau)}{\partial r}; \quad K_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (41)$$

$$T_1(R_1, \tau) = T_2(R_1, \tau), \quad (42)$$

$$T_2(R_2, \tau) = -H \frac{\partial T_2(R_2, \tau)}{\partial r}, \quad H = \frac{\lambda_2}{a}, \quad (43)$$

где $T_1(r, \tau)$, $T_2(r, \tau)$, t_c – температуры твердой частицы, пленки и сушильного агента соответственно, К; r – текущий радиус, м; h – толщина пленки, м; a_1 , a_2 – коэффициенты температуропроводности частицы и пленки, м²/с; λ_1 , λ_2 – их теплопроводности, Вт/(м·К); a – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); β – коэффициент массоотдачи, с/м; ΔP – разность парциальных давлений пара над поверхностью пленки и в газе, Па; Γ^* – удельная теплота испарения, Дж/кг; K_λ , H – безразмерный параметр; R_1 , R_2 – радиус частицы и внешний радиус пленки соответственно, м.

Методом интегральных преобразований Лапласа при условии, что величина T_{i0} не зависит от радиуса и ограниченности температуры в центре частицы $G_1(s) = 0$, решение системы уравнений (39)-(43) для области $0 \leq r \leq R_1$ получено в виде:

$$\theta_1 = \frac{T_{10}}{s} + \frac{sh \sqrt{\frac{s}{a_1}} r}{rs\psi} \left((Q_2 - Q_3) R_1 T_{21} - \frac{R_2^2}{H} T_{20} \right), \quad (44)$$

где θ_i – изображение по Лапласу; s – переменная в пространстве изображения; ψ , Q_i – вспомогательная функция. Для области $R_1 < r \leq R_2$:

$$\theta_2 = \frac{T_{20}}{s} + \frac{Q_2}{q_{22}} sh \left(\sqrt{\frac{s}{a_2}} (r - R_2) \right) + sh q_2 ch \left(\sqrt{\frac{s}{a_2}} (r - R_2) \right) \frac{(Q_2 - Q_3) R_2 T_{22} - \frac{R_2^2}{H} T_{20}}{rs\psi} - \frac{R_2}{q_{22}} sh \left(\sqrt{\frac{s}{a_2}} (r - R_2) \right) + ch \left(\sqrt{\frac{s}{a_2}} (r - R_2) \right) \frac{T_{22}}{sr}, \quad (45)$$

где преобразования Лапласа по времени для уравнений (45) – (46) имеют вид:

$$s\theta_1(r, s) - T_{10} = a_1 \frac{\partial^2 \theta_1(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta_1(r, \tau)}{\partial r}, \quad 0 \leq r \leq R_1, \quad (46)$$

$$s\theta_2(r, s) - T_{20} = a_2 \frac{\partial^2 \theta_2(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta_2(r, \tau)}{\partial r}, \quad 0 \leq r \leq R_2, \quad (47)$$

где изображения $\theta_i(r, s) - T_i(r, \tau)$ ($i = 1, 2$).

Точное решение для твердой частицы в области $0 \leq r \leq R_1$, в пространстве оригиналов получено в виде бесконечной суммы:

$$T_1(r, \tau) = \sum_{\mu} \frac{e^{-F_0 \mu^2} \sin \frac{\mu r}{R_1}}{\psi_1 \frac{\mu r}{R_1}} \times \quad (48)$$

$$\times \left(T_{20} \frac{\mu R_2^2}{R_1 H} + T_{21} \left[(\mu^2 K_a \frac{R_2}{R_1} - \frac{d_2}{K_a}) \sin(\mu p) - (d_2 + \frac{R_2}{R_1}) \cos(\mu p) \right] \right),$$

Для области пленки $R_1 \leq r \leq R_2$, решение получено в виде:

$$\sin \frac{\mu r}{R_1} \rightarrow \frac{(\mu \cos \mu - \sin \mu) K_a + \sin \mu}{\mu K_a} \sin \left(\mu K_a \frac{r - R_1}{R_1} \right) + \sin \mu \cos \left(\mu K_a \frac{r - R_1}{R_1} \right), \quad (49)$$

где $F_0 = \frac{a_1 \tau}{R_1^2}$ – число Фурье; $d_2 = \frac{R_2 - H}{H}$, μ – положительные корни уравнения;

K_a, p – безразмерный параметр.

Результаты моделирования получены для изменения температуры твердой частицы в процессе сушки по уравнению (49). Их погрешность при сравнении с экспериментальными данными составила 8-10 %.

При изучении кинетических закономерностей процесса распылительной сушки ферментного препарата использовался метод построения кривых влагоудаления. Сначала фиксировались температура и влажность ферментного препарата на входе в сушилку и конечная влажность и температура полученного порошка. По этим значениям строились графические зависимости температуры материала (T_o) от влажности (W) при различных значениях температуры сушильного агента (Tca). Функциональная связь между температурой материала (T_m) и влажностью имела вид прямой, которая аппроксимирована уравнением линейной регрессии (рисунок 15, а):

$$T_m = T_o - qW \quad (50)$$

где T_o – отрезок на оси ординат; $q = \operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

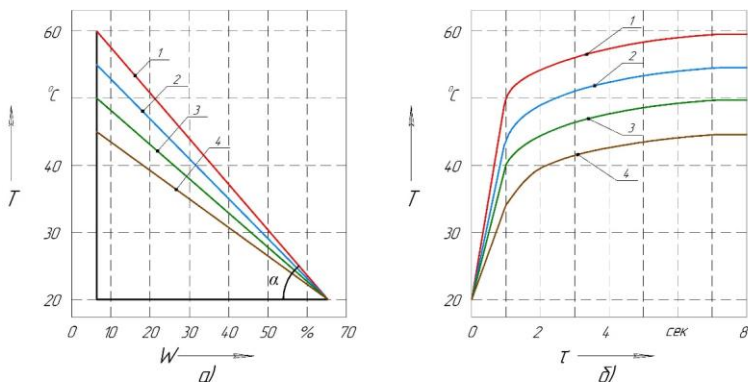
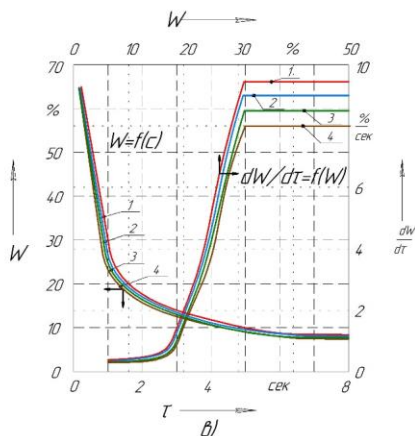


Рисунок 15 Кривые кинетики влагоудаления распылительной сушки ферментного препарата:

a – область допустимых значений изменения влажности при заданных условиях; b – теоретические кривые нагрева; θ – кривые скорости сушки, полученные методом графического дифференцирования.

При расходе сушильного агента $30 \text{ м}^3/\text{ч}$:
 1 – $t=90^\circ\text{C}$, $\text{tg}\alpha_1=0,684$;
 2 – $t=85^\circ\text{C}$, $\text{tg}\alpha_2=0,598$;
 3 – $t=80^\circ\text{C}$, $\text{tg}\alpha_3=0,513$;
 4 – $t=75^\circ\text{C}$, $\text{tg}\alpha_4=0,427$.



Для построения кривых сушки использовались теоретические кривые нагрева (рисунок 15, б). Данная информация позволила построить характерные кривые сушки в области допустимых свойств ферментного препарата при различных значениях температуры сушильного агента.

Кривые сушки и полученные методом графического дифференцирования кривые скорости сушки (рисунок 15, в) свидетельствовали о наличии первого и второго периодов сушки. При этом лимитирующим фактором, оказывающим влияние на скорость сушки, являлась температура гранулы, которая не превышала 60°C .

В шестой главе разработан экспресс-метод (пат. РФ № 2412436) определения содержания холинхлорида в премиксах.

Методика сенсорной оценки содержания холинхлорида в премиксе базировалась на газовой хроматографии с использованием «пьезоэлектронного носа» и включала расчёт хроматограмм на ПК.

В условиях стендового корпуса АО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод» изучены показатели качества четырех опытных партий премиксов (рецепт П1–1 для кур-несушек) массой по 10 кг с вводом различного количества витамина В₄ при хранении.

В опытные партии премиксов (таблица 1) вводили соответственно 80, 120, 160 и 200 кг/т витамина В₄ (варианты 1-4). Это обусловлено лечебно-профилактическими целями ввода высоких концентраций холинхлорида в премиксы. Исследовали активность витаминов в течение 5 месяцев хранения при рациональных параметрах, которые были получены в результате экспериментально-статистического анализа.

Таблица 1 – Изменение содержания витаминов в премиксах с различным содержанием холинхлорида при хранении

Вариант премикса	Исходное содержание	Срок хранения, мес.				
		1	2	3	4	5
	Млн. М. Е./т	Витамин А, % к исходному				
1	1 402,7	93,6	93,3	85,2	80,8	77,1
2	1 383,8	93,4	87,0	82,2	80,4	71,2
3	1 320,3	91,8	82,1	72,4	63,4	48,7
4	1 350,8	73,4	-	-	-	-
	г/т	Витамин Е, % к исходному				
1	573,3	93,6	91,8	85,3	81,4	80,3
2	524,8	91,4	89,3	80,9	75,6	70,8
3	507,8	92,8	83,5	73,6	69,7	53,3
4	550,4	80,2	-	-	-	-
	г/т	Витамин В ₁ , % к исходному				
1	211,6	98,9	96,1	95,4	91,2	85,5
2	175,5	100,0	95,0	94,8	94,3	87,1
3	207,6	100,0	93,7	93,6	91,0	85,6
4	203,4	85,2	-	-	-	-
	г/т	Витамин В ₂ , % к исходному				
1	585,7	100,0	96,4	94,5	93,3	91,2
2	526,8	97,9	99,4	94,7	94,6	92,7
3	518,7	98,4	94,5	92,7	91,8	91,3
4	513,3	85,6	-	-	-	-
	г/т	Витамин В ₄ , % к исходному				
1	80,9	99,2	99,0	98,9	98,2	97,5
2	119,8	98,6	97,8	97,3	96,7	96,0
3	161,5	98,6	99,8	99,5	99,0	96,6
4	203,4	99,0	-	-	-	-
	г/т	Витамин С, % к исходному				
1	5,45	78,9	71,6	58,3	31,4	следы
2	5,37	71,3	66,5	36,5	17,8	следы
3	5,31	75,0	71,4	40,3	22,4	следы
4	5,23	32,4	-	-	-	-

При вводе 200 кг/т (вариант 4) следует учитывать, что уже после первого месяца хранения наблюдалось разрушение витаминов. В остальных вариантах срок хранения ограничен 4 месяцами.

Зависимости теплофизических характеристик от температуры описываются математическими уравнениями (таблица 2).

Таблица 2 – Математические уравнения зависимости теплофизических характеристик от температуры жмыха красного клевера

Наименование	Исходный образец	Образец после сушки
Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры	$y = -0,0025x + 6,53$	$y = -0,0026x + 6,31$
Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры	$y = 0,0001x + 0,198$	$y = 0,0001x + 0,205$
Зависимость коэффициента удельной теплоемкости от температуры	$y = 2,141x + 2060,8$	$y = 2,2705x + 1891$

Из полученных данных установили, что зависимости теплофизических характеристик продукта от температуры имеют линейный характер. При повышении температуры теплофизические характеристики увеличиваются (удельная теплоёмкость, теплопроводность) у опытных образцов жома красного клевера. Однако происходит уменьшение коэффициента температуропроводности при росте температуры.

Изучены показатели качества ПЗК и травяного жома при хранении (таблицы 3, 4).

Установлены рациональные режимы хранения ПЗК. Хранение осуществлялось в условиях склада экспериментальной базы АО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод» в крафт-мешках. Опытная партия хранилась при температуре от 0 до 26 °С, относительной влажности воздуха от 45 до 70 %, исходная влажность протеинового зеленого концентрата 10 %.

Таблица 3 – Физико-механические свойства ПЗК и травяного жома при хранении

Срок хранения, мес.	Угол естественного откоса, град	Массовая доля влажности, %	Объёмная масса, кг/м ³	Остаток на сите, %		Угол естественного откоса, град	Массовая доля влажности, %	Объёмная масса, кг/м ³	Остаток на сите, %	
				Ø 1, мм	№ 056				Ø 5, мм	Ø 3, мм
				ПЗК					Травяной жом	
контроль	40	10,0	618	0,127	3,800	60	12,0	580	0	2,500
1	43	11,8	625	0,120	4,500	43	13,6	591	0,100	4,100
2	44	12,2	631	0,128	4,700	44	14,2	603	0,203	4,700
3	46	12,7	637	0,130	4,900	46	14,5	615	0,330	5,100
4	47	13,2	638	0,134	5,600	47	14,8	620	0,502	5,600
5	48	13,5	640	0,135	6,100	48	15,0	630	0,520	6,100

Таблица 4 – Изменение содержания витаминов ПЗК и травяного жома при хранении

Показатель	Исходное содержание	Срок хранения, мес.				
		1	2	3	4	5
		% к исходному				
ПЗК						
Витамин А	9,89 мкг%	93,4	87,0	82,2	80,4	71,2
Тиамин (В)	3,42 мг%	100,0	95,0	94,8	94,3	87,1
Рибофлавин (В ₂)	1,10 мг %	98,0	95,8	91,9	84,2	62,9
Витамин Е	37,01 мг%	93,6	91,8	85,3	81,4	80,3
Витамин С	550,76 мг%	78,9	71,6	58,3	31,4	следы
Ниацин (РР)	16,24 мг%	98,7	99,0	98,8	97,5	96,1
Травяной жом						
Витамин А	5,28 мкг%	93,4	89,3	82,2	78,4	69,3
Тиамин (В)	2,09 мг%	100,0	95,0	94,8	94,5	79,2
Рибофлавин (В ₂)	0,82 мг %	98,0	95,8	81,9	74,2	62,9
Витамин Е	20,36 мг%	93,6	91,8	85,3	81,4	60,1
Витамин С	203,00 мг%	78,9	56,6	38,3	Следы	Следы
Ниацин (РР)	11,50 мг%	98,7	99,0	98,8	87,5	86,1

Протеиновый концентрат можно применять для полной или частичной замены белка животного происхождения в кормлении сельскохозяйственных животных. Главная задача при выборе рецепта для каждого вида или кросса с/х животного и птицы состоит в создании наиболее сбалансированного корма. Когда организуется кормление свиней, надо учитывать и потребность в питательных веществах, и особенности пищеварения. У свиней ограничена возможность переваривания кормов, с высоким содержанием клетчатки. Если содержится большое количество клетчатки в рационе, то ухудшается переваримость корма, идет его перерасход. В рационе свиней часто не хватает лизина, метионина, а иногда триптофана.

В результате изучения физико-механических свойств цеолитсодержащей добавки с хелатным соединением меди и ферментным препаратом β -маннаназы установлено, что она соответствует требованиям стандартов (таблица 5).

Коэффициент вариации при перемешивании ингредиентов добавки составил соответственно 6,7 и 8,6 %, что свидетельствует о высокой однородности продукции. Полученные результаты находились в допустимых пределах значений вариаций содержания биологически активных веществ в партии премикса относительно данных рецепта.

Таблица 5 – Физико-механические свойства кормовой добавки

Кормовая добавка	Влажность, %	Угол естеств. откоса, град.	Объемная масса, кг/м ³	Распыляемость, %	Остаток на сите с сеткой № 1, 2, %	Условная слеживаемость
Приготовленная по предложенному способу	6,2	42	685	6,9	2,0	Не слеживается

Для исследования влияния полученной цеолитсодержащей добавки на показатели качества премиксов были выработаны опытные партии: с сернокислыми солями микроэлементов (контроль); с хелатным соединением меди и ферментным препаратом β -маннаназы (опыт).

Ввод исследуемых добавок не оказывал отрицательного влияния на качество премиксов при хранении в производственных условиях. Влажность в премиксах, выработанных в заводских условиях за время опытов, изменялась с 9,9 до 11,8–11,9 % (рисунок 16). Кислотность повысилась от 3,0–3,4 до 4,5–4,7 град. В течение опыта активная кислотность (рН) существенно не менялась. Ее значения в опытном и контрольном вариантах находились в пределах 4,3–5,0.

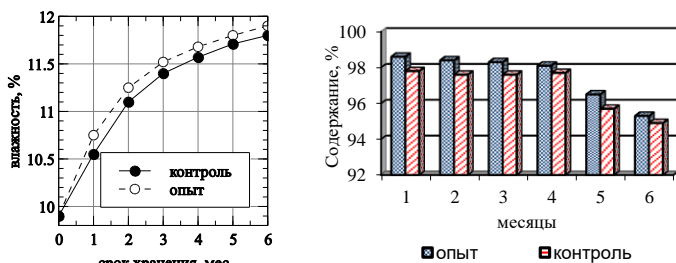


Рисунок 16 - Изменение влажности и содержания витамина А в премиксах для поросят при хранении

В опытах по хранению готовой продукции установлено, что потери активности витамина А в контроле были выше, чем в опытном варианте премиксов. Через 6 месяцев активность находилась на уровне 94,3–95,2 %. Изменение содержания витамина А в премиксах для поросят при хранении на складе представлено (рисунок 16). Аналогичная динамика характерна для витаминов Е, В₁, В₂ в течение всего срока хранения.

Исследования физико-химических свойств премиксов для поросят, показали, что начальные значения крупности и влажности продукции соответствовали требованиям стандарта. Премикс, содержащий добавку, обладал удовлетворительными физико-механическими свойствами на начало хранения: объемная масса была равна 645 кг/м³, угол естественного откоса – 38 град. Через 6 месяцев хранения на складе напольного типа в продукции не наблюдалось признаков порчи, значительного увеличения влажности, изменения угла естественного откоса, объемной массы и распыляемости. При вводе премикса в комбикорм в нем при хранении в течение 2 месяцев не отмечалось признаков слеживания, он имел хорошие технологические свойства.

Качество белкового концентрата фильтрата барды было изучено в лабораторных условиях. Он имеет низкую влажность, относительно высокое содержание белка и клетчатки. Кроме того, обладает разнообразным минеральным, аминокислотным и витаминным составом. Все эти компоненты имеют важное значение в кормлении животных.

Скармливание свиньям комбикорма с вводом исследуемых добавок способствовало более интенсивному росту. Кормить обе группы начали с 66-дневного возраста: СПК-5 и СПК-6 без ввода добавок (рецепт стандартный), опытной – СПК-5 для свиней (с вводом ПЗК из фильтрата барды, сухой жом; в премикс ЮНИМИКС 1% цеолитсодержащей добавки с хелатным соединением меди и ферментным препаратом β -маннаназы) и СПК-6 для свиней (с вводом ПЗК из фильтрата барды; в премикс ЮНИМИКС 1% цеолитсодержащей добавки с хелатным соединением меди и ферментным препаратом β -маннаназы). При введении биодобавок в комбикорм 66-108 дней прирост был выше на 17,8 %, а живая масса возрасте больше на 13,8 %; 109-138 дней прирост был выше на 7,8 %, а живая масса возрасте больше на 6,8 % в сравнении с контрольной группой. Опыты проведены в КФХ ИП Спиридонов А.В.

Разработанные добавки были реализованы в виде компонентов рецептур полнорационных гранулированных комбикормов для молодняка кроликов (возраст 28–135 сут). Рецепты и питательная ценность полнорационных гранулированных комбикормов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Рецепты и питательная ценность опытных партий комбикормов

Состав компонентов	Содержание в рецепте, %							
	ПЗК-92 (контроль)		ПЗК-92-1		ПЗК-92-2		ПЗК-92-3	
	В ре- цепте	Кол- во, кг/т	В ре- цепте	Кол- во, кг/т	В ре- цепте	Кол- во, кг/т	В ре- цепте	Кол- во, кг/т
1	2		3		4		5	
Пшеница	6,00	60,00	6,00	60,00	6,00	60,00	6,00	60,00
Ячмень	7,90	79,00	7,90	79,00	7,90	79,00	7,90	79,00
Меласса	2,00	20,00	2,00	20,00	2,00	20,00	2,00	20,00
Овес	8,00	80,00	17,60	176,00	17,60	176,00	17,60	176,00
Кукуруза	10,00	100,00	-	-	-	-	-	-
Отруби пшеничные	15,00	150,00	15,00	150,00	15,00	150,00	15,00	150,00
Сухой травяной жом из красного клевера	-	-	15,00	150,00	-	-	-	-
Жмых подсолнечный	16,50	165,00	16,50	165,00	16,50	165,00	16,50	165,00
ПЗК из красного клевера	-	-	-	-	-	-	4,00	40,00
Шрот подсолнечный	8,00	80,00	8,00	80,00	8,00	80,00	4,00	40,00
Мука трав. люцерны	20,0	200,00	5,00	50,00	10,00	100,00	20,00	200,00
Мука мясная	3,00	30,00	3,00	30,00	3,00	30,00	3,00	30,00
Белковый кормовой концентрат из фильтрата барды (пшеничный)	-	-	-	-	10,00	100,00	-	-
Соль поваренная	0,20	2,00	0,10	1,000	0,10	1,00	0,10	1,00
Фосфат обесфторенный	1,40	14,00	1,40	14,00	1,40	14,00	1,40	14,00
Мел кормовой	1,00	10,00	1,40	14,00	1,40	14,00	1,40	14,00
Споротермин	-	-	0,10	1,00	0,10	1,00	0,10	1,00
КВП П90-1К с вводом кормовой добавки ферментно – сорбционного действия и сорбированной добавкой холинхлорида	1,00	10,000	1,00	10,000	1,00	10,000	1,00	10,000

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
Показатели качества (%)				
ЭКЕ	1,09	1,14	1,18	1,11
Обменная энергия, МДж	10,96	11,42	11,85	11,13
Сырой протеин	18,46	19,16	19,78	18,53
Сырая клетчатка	11,83	12,32	11,89	12,11
Лизин	0,68	0,73	0,72	0,72
Метионин+цистин	0,67	0,70	0,73	0,67
Треонин	0,64	0,67	0,68	0,65
Са	1,41	1,54	1,41	1,59
Р	0,78	0,78	0,81	0,76

Питательная ценность разработанных комбикормов соответствует требованиям для данной группы животных.

Показатели качества комбикорма представлены в таблице 7. Полученные комбикорма с вводом биодобавок соответствовали требованиям ГОСТ 32897-2014.

Таблица 7 – Показатели качества гранулированных комбикормов

Вид комбикорма	Показатели качества							
	После пресс-гранулятора			После охладителя				
	Влажность, %	Температура, °С	Наличие крошки, %	Влажность, %	Крошмость, %	Наличие крошки, %	Средняя длина гранул, мм	Объемная масса, кг/м ³
Рецептура 1 (контроль)	17,2	53	13,4	12,2	9,5	14,0	9,8	586
Рецептура 2	18,6	52	7,6	14,0	8,4	10,2	10,3	606
Рецептура 3	19,3	53	6,7	13,9	7,7	6,4	10,0	617
Рецептура 4	19,5	53	6,2	14,0	7,5	5,8	10,0	619

Таблица 8 – Изменение показателей качества разработанных комбикормов при хранении

Показатели	Рецептура комбикорма							
	ПЗК-92 (контроль)		ПЗК-92-1		ПЗК-92-2		ПЗК-92-3	
	Продолжительность хранения, мес							
	0	2	0	2	0	2	0	2
Массовая доля влаги, %	12,0	15,6	12,9	13,5	12,2	14,2	13,8	14,3
Общая кислотность, град.	6,3	6,9	6,4	6,6	6,4	6,7	6,4	6,6
Микроскопические грибы, 10 ³ КОЕ/г	2,7	3,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	3,0
Общая бактериальная обсемененность, 10 ⁵ КОЕ/г	1,6	2,9	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,9
Кислотное число жира, мг КОН/г	33,0	46,7	34,0	36,4	31,3	34,6	35,0	36,9
Перекисное число жира, % J	0,12	0,16	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,15

Хранение выработанных комбикормов осуществлялось в производственных условиях (склад напольного хранения) в бумажных мешках по 30 кг на группу при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха 65–70 %. Изменение показателей качества комбикормов представлено в таблице 8.

Опытные варианты комбикормов с вводом биодобавок растительного происхождения и минеральных обогатителей имели стабильное качество при хранении и оставались доброкачественными в течение всего периода испытаний.

Результаты производственной проверки влияния исследуемых комплексов при откорме молодняка кроликов в условиях промышленного комплекса ООО «Липецкий кролик» представлены в таблице 9.

Используемые полнорационные гранулированные комбикорма с вводом биодобавок позволили повысить убойный выход на 3,62; 4,45 и 3,96 %, при снижении затрат корма на 1 кг убойной массы на 0,72; 0,38 и 0,88 ЭКЕ. Было достигнуто увеличение прибыли на 17725,25; 16114,38 и 14168,55 руб., а также уровня рентабельности на 45,93; 41,26 и 31,24 %, что связано более высокой сохранностью и продуктивностью выращиваемого поголовья кроликов.

Таблица 9 – Результаты производственной проверки

Показатель	Группа			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Поголовье кроликов при постановке, гол	100	100	100	100
Поголовье кроликов при снятии, гол	75	97	98	100
Живая масса всего поголовья, кг:				
- при постановке на опыт	128,50	128,4	129,50	128,00
- при снятии	233,22	337,30	332,22	353,90
Убойный выход, %	49,90	53,52	54,35	53,86
Масса одной тушки, г	1,48	1,73	1,69	1,73
Дополнительный прирост живой массы, кг	104,72	208,90	202,72	225,90
Стоимость дополнительного прироста, руб	6756,17	10986,09	11039,83	14677,50
Затраты ЭКЕ на прирост 1 кг живой массы, кг	3,04	2,85	3,02	2,73
Затраты ЭКЕ на 1 кг убойной массы, кг	6,45	5,73	6,07	5,57
Получено мяса, кг	100,50	154,23	150,92	158,70
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.	23,06	21,02	21,22	26,43
Питательная ценность комбикорма, ЭКЕ	1,09	1,14	1,18	1,11
Расход корма на весь прирост живой массы, ЭКЭ	711,22	962,04	1006,07	965,70
Затраты на содержание основных средств, руб.	20400	20400	20400	20400
Затраты на комбикорма, руб.	15046,65	17738,78	18092,17	22994,10
Затраты на выращивание всего, руб.	35446,65	38138,80	38492,17	43394,10
Реализационная стоимость 1 кг мяса, руб.	380,00	380,00	380,00	380,00
Выручено от реализации мяса, руб.	38190,00	58607,40	57349,90	60306,00
Прибыль, руб.	2743,35	20468,60	18857,73	16911,90
Уровень рентабельности, %	7,73	53,66	48,99	38,97

Использование в рационах для кроликов обогащенных комбикормов способствует улучшению физиологического статуса кроликов и повышению продуктивных показателей, а также положительно влияет на процессы пищеварения и сохранность откармливаемого молодняка. Анализ химического состава мяса, полученного от кроликов контрольной и опытных групп, показал,

что применение вводимых биодобавок способствует накоплению белковых веществ в мышечной ткани, что открывает перспективы для внедрения данных кормовых рационов в условиях промышленного кролиководства с целью получения конечной продукции, отвечающей требованиям безопасности и экологичности.

В седьмой главе представлены разработки энергоэффективных способов производства кормовых добавок и алгоритмов управления технологическими параметрами для их реализации; приведен эксергетический анализ технологий комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений, порошкообразной кормовой добавки, белкового концентрата из фильтрата спиртовой барды, который подтвердил правильность предлагаемых технических и технологических решений.

Рассчитаны эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери составили эксергетический баланс теплотехнологической системы комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений (таблица 10). При построении эксергетических диаграмм Грассмана-Шаргута (рисунок 17) в качестве абсолютного эксергетического параметра выбрана удельная эксергия e , кДж/кг. Обозначение потоков на рисунке 17 представлено в таблице 11, потоки, входящие в эксергетический баланс, выделены жирным шрифтом.

Таблица 10 – Эксергетический баланс линии комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений

№ п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная эксергия e , кДж/кгч	Относительная удельная эксергия, %
1	2	3	4
I ПОДГОТОВКА ТРАВЯНОГО ЖОМА			
П р и х о д			
1	Измельченная масса зеленых растений	0,0	0,00
2	Привод шнекового пресса	54,0	13,25
3	Привод разрыхлителя	54,0	13,25
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		108,0	26,50
Р а с х о д			
4	Внутренние эксергетические потери	90,4	22,18
5	Внешние эксергетические потери	15,2	3,73
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		105,6	25,91
II ФИЛЬТРАЦИЯ И ПОДОГРЕВ ЗЕЛЁНОГО СОКА			
П р и х о д			
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		0,0	0,00
Р а с х о д			
1	Внутренние эксергетические потери	3,2	0,79
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		3,2	0,79
III КОНЦЕНТРАЦИЯ ЗЕЛЁНОГО СОКА			
П р и х о д			
1	Раствор антиокислителя	0,0	0,00
2	Приводы насосов	4,7	1,15

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		4,7	1,15
Р а с х о д			
3	Пермеат на технологические нужды	5,3	1,30
4	Внутренние эксергетические потери	4,3	1,06
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		9,6	2,36
IV РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА КОНЦЕНТРАТА			
П р и х о д			
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		0,0	0,00
Р а с х о д			
1	Порошкообразный протеиновый концентрат	8,3	2,04
2	Внутренние эксергетические потери	2,4	0,59
3	Внешние эксергетические потери	2,5	0,61
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		13,2	3,24
V ВИБРАЦИОННАЯ СУШКА ЖОМА			
П р и х о д			
1	Привод вибросушилки	62,3	15,29
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		62,3	15,29
Р а с х о д			
2	Сухой травяной жом	25,4	6,23
3	Внутренние эксергетические потери	21,0	5,15
4	Внешние эксергетические потери	11,0	2,70
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		57,4	14,09
VI ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ			
П р и х о д			
1	Привод вентилятора	3,2	0,79
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		3,2	0,79
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	8,9	2,18
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		8,9	2,18
VII КАЛОРИФЕР			
П р и х о д			
1	Атмосферный воздух	0,0	0,00
2	Привод вентилятора	2,1	0,52
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		2,1	0,52
Р а с х о д			
3	Внутренние эксергетические потери	10,8	2,65
4	Внешние эксергетические потери	4,5	1,10
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		10,8	2,65
VIII ПАРОГЕНЕРАТОР			
П р и х о д			
1	ТЭНы	225,8	55,41
2	Привод насоса	1,4	0,34
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		227,2	55,75
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	81,1	19,90
3	Внешние эксергетические потери	117,7	28,88
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		198,8	48,79
ОБЩИЙ ПОДВОД		407,5	100,0
ОБЩИЙ ОТВОД		407,5	100,0
ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ КПД, %			9,64

Наименование потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута исследуемой линии: 1 – измельченная масса зеленых растений, 2 – зеленый сок, 3 – зеленый сок нагретый, 4 – пермеат на технологические нужды, 5 – концентрат, 6 – порошкообразный протеиновый концентрат, 7 – травяной жом, 8 – сухой травяной жом, 9 – привод шнекового пресса, 10 – привод разрыхлителя, 11 – приводы насосов, 12 – привод вибросушилки, 13 – привод вентилятора, 14 – привод вентилятора, 15 – ТЭНы, 16 – привод насоса, 17 – раствор антиокислителя, 18 – осадок микрофилтрации, 19 – осадок филтрации, 20 – атмосферный воздух, 21 – нагретый воздух, 22 – перегретый пар, 23 – перегретый пар рециркулирующий, 24 – перегретый пар вторичный, 25 – греющий пар, 26 – греющий пар вторичный, 27 – конденсат теплый, 28 – конденсат греющего пара.

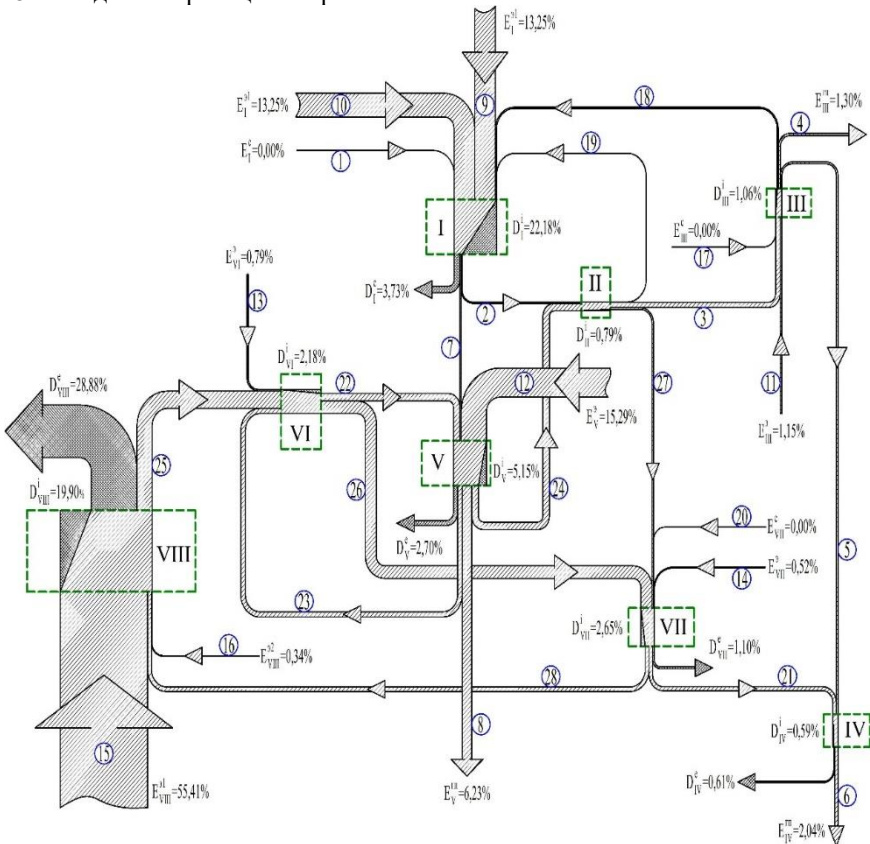


Рисунок 17 – Диаграмма Грассмана-Шаргута для исследуемой технологии (I-VIII – номера контрольных поверхностей)

Результат эксергетического КПД разработанной технологии – 9,64 %, что на 3,82 % превышает показатель существующей технологии (прототипа). Проведенные исследования подтверждают повышение степени термодинамического совершенства системы за счет снижения энергозатрат в результате использования контуров рециркуляции по теплоносителям (греющий и перегретый пар) и сушки сырья в «щадящих» температурных режимах, исключения дополнительных затрат энергии на вакуум-выпарной аппарат вследствие концентрирования сока в менее энергоемких микро- и ультрафильтрационных модулях.

Основные выводы и результаты

1. Обоснован выбор сырья для кормопроизводства: растительного происхождения, отходы свеклосахарной и спиртовой промышленности и продуктов микробиологического синтеза.

2. Разработаны научно-теоретические подходы к энергосбережению за счет комбинированного теплоподвода, рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов с применением замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам и предложены новые компоновочные решения технологии комбикормов как системы тепломассообменных процессов. (пат. РФ № 2346988, 2412436, 2528027, 2640843, 2674610).

3. Исследованы теплофизические, физико-механические свойства свекловичного жома, сока красного клевера, ферментного препарата β -маннаназы и фильтрата барды как объектов переработки.

4. Выполнены комплексные экспериментальные и теоретические исследования процессов: сушки свекловичного жома перегретым паром атмосферного давления в активных гидродинамических режимах и установлены следующие рациональные интервалы изменения входных факторов: температура перегретого пара 418–428 К, скорость пара в рабочей камере 1,8–2,2 м/с, амплитуда и частота колебаний газораспределительной решетки соответственно 7 мм и 12,5 Гц, частота пульсаций колебаний решетки 0,017–0,020 Гц. Сушка травяного жома в следующих диапазонах изменения режимных параметров: температура перегретого пара 393–423 К, скорость перегретого пара 1–3 м/с, удельная нагрузка 2,5–15,0 кг/м², начальная влажность жома 200–400 % и остаточная влажность сухого травяного жома 10–12 %. Баромембранное концентрирование при режимных параметрах – содержание СВ в исходном фильтрате барды 5–6 %; трансмембранное давление 500–950 кПа.

5. Разработаны математические модели: процесса сушки жома свекловичного перегретым паром в активном гидродинамическом режиме; выполнена идентификация параметров модели по экспериментальным данным методом совместного применения интегральных преобразований Фурье и Лапласа; получено решение системы уравнений, позволяющее определить поля температуры и влагосодержания в высушиваемом материале; процесса распылительной сушки концентрированного зеленого сока красного клевера, позволяющая

определить изменение влажности и температуры по радиусу капли, что необходимо как для выбора геометрических размеров сушилки, так и для управления технологическими параметрами процесса сушки; ферментного препарата β -маннаназы с нанесением структурообразующей пленки. Проведена экспериментальная проверка результатов моделирования. Адаптирована модель процесса распылительной сушки к сушке фильтрата барды, выполнена идентификация её параметров и получено решение, позволяющее прогнозировать профили распределения скорости, температуры и влагосодержания капель фильтрата.

6. Разработаны программно-логические алгоритмы управления технологическими параметрами при получении сыпучей формы холинхлорида на основе сухого свекловичного жома, капсулированных ферментных препаратов, обеспечивающие поиск наилучшего компромисса между качеством, количеством и затратами ресурсов всех видов при получении кормопродуктов (пат. РФ № 2356907, 2535559, 2581012, 2603899, 2687022).

7. Проведен экспериментально-статистический анализ и определены рациональные технологические режимы процессов: сушки жмыха красного клевера – сушки жмыха красного клевера – температура перегретого пара на входе в камеру 400 – 413 К; скорость перегретого пара 1,8 – 2 м/с; удельная нагрузка на решетку 5 – 7,5 кг/м²; первоначальная влажность материала 280–300 %; ультрафильтрации β -маннаназы микромицета *Trichoderma harzianum* F114, массовая доля сухих веществ (СВ) в исходном растворе 6,15–7,25 %; активность β -маннаназы в культуральной жидкости 2399,014–2402,5 ед/см³; разрешающая способность мембраны 105,75–189,20 кДа; расход исходного раствора 0,034–0,0354 м³/с; хранения премикса - содержание холинхлорида в премиксе 75–95 г/кг; температура окружающего воздуха в помещении 287–293 К; расход воздуха на поддержание необходимых условий при хранении 9–12 м³/(ч·т); относительная влажность воздуха при хранении 35–40 %; исходная влажность носителя (свекловичного жома) 8,5–10,5 %; белкового концентрата из фильтрата барды - влажность готового продукта 6,7–9,2 %, температура окружающего воздуха в складе 11–15 °С, расход воздуха на поддержание необходимых условий на складе во время хранения 3,7–4,9 м³/(ч·т), относительная влажность воздуха на складе 78–89 %.

8. Разработаны конструкции мембранных аппаратов, обеспечивающих повышение эффективности мембранного разделения при концентрировании культуральной жидкости, сока красного клевера и фильтрата за счет снижения поляризационной концентрации.

9. Комплексный анализ качества комбикормов и премиксов, содержащих кормовые добавки из растительного сырья, показал, что полученная готовая продукция соответствует требованиям стандарта.

10. Предложены рецептуры высокоэффективных биологически ценных комбикормов, обеспечивающих рост продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы.

11. Эксергетический КПД для процессов комплексной переработки красного клевера, и энергосберегающих технологий порошкообразных кормовых добавок, а также получения белкового концентрата из фильтрата барды составил 9,64, 7,20 и 5,47 % соответственно, что выше, чем у известных способов. Ожидаемый суммарный экономический эффект от внедрения в производство составит 2 млн р. в год.

12. Проведены производственные испытания технологических режимов рассматриваемых процессов и показателей качества в условиях АО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод», ООО «МИП»; ООО «Липецкий кролик», КФХ ИП Спиридонов А.В.; БУВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория».

13. Коммерциализация предлагаемых технических и технологических решений подтверждена продажей 2 лицензий (договоры № РД 0036133 от 16.05.2008 г, № РД 17/20 от 9.07.2020) на право использования интеллектуальной собственности предприятиями ООО «СуперАгро», «ИнтерВетФарм».

Условные обозначения

W^c – влажность материала в пересчете на сухое вещество, %; T – температура, К; t – температура, °С; время, с; Nu – критерий Нуссельта; α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К); ε – порозность слоя; критерий фазового превращения; $\tau_n, \tau_{воб}$ – время неподвижного и вибрирующего состояния газораспределительной решетки, с; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м²·К); r – удельная теплота парообразования, Дж/кг; u – влагосодержание материала, кг/кг; энергетический параметр, находящийся по экспериментальным данным; $K; x, y, z$ – текущие координаты, м; a_m – коэффициент диффузии влаги, м²/с; δ – относительный коэффициент термодиффузии, кг/кг; q_n – интенсивность теплообмена, Вт/м²; j_n – удельный поток влаги, кг/(м²·с); v – скорость м/с; l – толщина пластины материала, м; χ – коэффициент температуропроводности материала, м²/сек; L – длина пластины продукта, м; дифференциальный оператор; q' – поток тепловой энергии, Вт/м²; p – давление перегретого пара в сушильной камере, Па; k – постоянная Больцмана, Дж/К; κ – экспериментальный кинетический коэффициент, характеризующий скорость испарения влаги; V – объем одной частицы продукта, м³; T_1 – скорость изменения температуры образца; S – площадь частицы продукта, м²; n_t – плотность молекул воды в теплоносителе, 1/м³; T_T – скорость изменения температуры перегретого пара; m – масса молекул воды, кг; V_1 – объем, приходящийся на одну молекулу адсорбированной воды, м³; κ_3 – коэффициент, определяемый экспериментально; R – коэффициент конденсации влаги из теплоносителя на поверхности материала; F – сечение трубки, м²; w – скорость потока, м/с; C – концентрация, кг/м³; H – длина трубки, м; D_H – коэффициент продольного перемешивания, м²/с; Pe – критерий Пекле; N_β – базисная функция.

Список работ, опубликованных по материалам диссертации

Монографии

1. Шевцов, А.А. Научное обеспечение промышленного получения сыпучей формы холинхлорида : монография / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Костина Е.В. Воронеж, 2015. 214 с.
2. Шевцов, А.А. Научное обоснование технологии комплексной переработки красного клевера в кормопроизводстве : монография / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Коротаева А.А. Воронеж, 2018. 144 с.

Учебные пособия

3. Технология мучных кулинарных изделий : учеб. пособие / Н.С. Родионова, А.А. Дерканосова, С.Н. Тефикова, Я.П. Коломникова, Е.В. Белокурова, М.В. Мануковская; Воронеж. гос. ун-т. инж. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2014. – 220 с.
4. Организация производства и логистика предприятий общественного питания : учеб. пособие / Н.С. Родионова, Я.П. Домбровская, Е.В. Белокурова, А.А. Дерканосова; Воронеж. гос. ун-т. инж. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2014. – 220 с.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Шенцова, Е.С. Технология гранулированных комбикормов с добавкой лечебно-профилактического назначения / Е.С. Шенцова, Л.И. Лыткина, А.А. Дерканосова, О.Н. Бортникова // Кормопроизводство. – 2008. – № 4. – С. 34.
2. Управление процессом получения сыпучей формы порошкообразного холинхлорида / А.А. Шевцов, Е.С. Шенцова, Л.И. Лыткина, А.В. Дранников, А.А. Дерканосова, Д.А. Кузнецов // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 5. – С. 10-12.
3. Шевцов, А.А. Выбор рациональных параметров хранения премикса с содержанием холинхлорида / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, Е.С. Шенцова, А.А. Дерканосова, В.П. Ясиневская // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2009.- № 5-6 (311-312). - С. 68-71.
4. Шевцов, А.А. Экспресс-метод определения холинхлорида в премиксах / А.А. Шевцов, Е.С. Шенцова, А.В. Дранников, А.А. Дерканосова // Комбикорма. - 2009. - № 8. - С. 52.
5. Шевцов, А.А. Эффективный способ сушки свекловичного жома и установка для его реализации / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.А. Дерканосова, С.А. Барышников // Вестник Воронежской государственной технологической академии. 2009. - № 1 (39). - С. 64-68.
6. Дерканосова, А.А. Анализ перспективы производства отечественных кормовых препаратов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2012. - № 2 (52). - С. 194-196. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2012-2-194-196>
7. Мистров, Л.Е. Методы информационного воздействия при синтезе стратегий управления конкурентоустойчивостью социально-экономических организаций / Л.Е. Мистров, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013. - № 4 (58). - С. 282-288. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2013-4-282-288>
8. Шевцов, А.А. Анализ инновационной привлекательности использования вегетативной массы растений в комбикормах / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.А. Коротаева, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013.- № 1 (55). - С. 224-226. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2013-1-224-226>

9. Шевцов, А.А. Кинетические закономерности и оптимизация процесса сушки жома красного клевера / А.А. Шевцов, А.А. Дерканосова, А.А. Коротаева, С.А. Дятлова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013. - № 4 (58). - С. 41-46. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2013-4-41-46>
10. Магомедов, М.Г. Получение концентрированного сока сахарной свеклы и перспективы его использования / М.Г. Магомедов, Л.А. Лобосова, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2014. - № 2 (60). - С. 158-163. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2014-2-158-163>
11. Алексеев, Г.В. Оптимизация рецептуры кормов непродуктивных животных с помощью математического моделирования / Г.В. Алексеев, О.И. Аксенова, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2015. - № 1 (63). - С. 28-35. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-1-28-35>
12. Шевцов, А.А. Моделирование процесса распылительной сушки суспензии протеинового зеленого концентрата (ПЗК) / А.А. Шевцов, А.А. Дерканосова, А.А. Коротаева, А.С. Муравьев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2015. - № 1 (63). - С. 51-57. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-1-51-57>
13. Мистров, Л.Е. Метод обоснования способов применения комплексов технических средств информационного обеспечения конфликтного взаимодействия организационно-технических систем / Л.Е. Мистров, В.А. Павлов, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2015. - № 2 (64). - С. 247-253. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-2-247-253>
14. Алтайулы, С. Разработка инновационной конструкции конического ротационно-плечного аппарата / С. Алтайулы, С.В. Шахов, И.Т. Кретов, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2015. - № 3 (65). - С. 17-22. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-3-17-22>
15. Терёхина, А.В. Термогравиметрический анализ кукурузного масла / А.В. Терёхина, А.А. Дерканосова, И.А. Саранов // Вестник КрасГАУ. - 2019. - № 3 (144). - С. 161-166.
16. Фролова, Л.Н. Оптимизация параметров процесса получения биотоплива методами математического моделирования / Л.Н. Фролова, В.Н. Василенко, М.В. Копылов, А.А. Дерканосова, Н.А. Михайлова // Вестник Международной академии холода. - 2015.- № 3.- С. 63-67.
17. Фролова, Л.Н. Эксергетический анализ линии комплексной двухступенчатой переработки масличных культур / Л.Н. Фролова, В.Н. Василенко, И.В. Драган, А.А. Дерканосова, Н.А. Михайлова // Вестник Международной академии холода.- 2015.- № 4. - С. 78-84.
18. Шевцов, А.А. Влияние конструктивных особенностей турбулизатора мембранного аппарата на гидродинамику процесса ультрафильтрации / А.А. Шевцов, А.А. Дерканосова, А.А. Коротаева, Н.В.Тонких, А.С. Муравьев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2015.- № 3. - С. 81-90.
19. Василенко, В.Н. Оценка термодинамической эффективности линии производства растительных масел с предварительной экструзионной обработкой сырья / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, Н.А. Михайлова, А.А. Дерканосова, Д.А. Таркаева, К.Ю. Русина // Вестник Международной академии холода. - 2016. - № 3.- С. 37-42.
20. Дерканосова, А.А. Химический состав и антиоксидантная активность хмелепродуктов / А.А. Дерканосова, А.А. Ориничева, А.С. Муравьев // Вестник Международной академии холода. - 2016.- № 4. - С. 19-22. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-15-4-19-22>

21. Шевцов, А.А. Эксергетический анализ технологии комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.А. Дерканосова, А.А. Коротаева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2016. - № 4 (51). - С. 147-154. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2016.4.147>
22. Шенцова, Е.С. Совершенствование производства заменителей молока для телят Е.С. Шенцова, А.А. Дерканосова, А.А. Коротаева, К.К. Полянский // Сыроделие и маслоделие. - 2016. - № 1. - С. 41-42.
23. Алексеев, Г.В. Особенности сушки порошковых пищевых продуктов в псевдооживленном режиме / Г.В. Алексеев, О.А. Егорова, А.Г. Леу, А.А. Дерканосова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. - 2017. Т. 5. - № 4. - С. 34-40. <https://doi.org/10.14529/food170405>
24. Дерканосова, А.А. Изучение показателей качества хлеба с содержанием хмелепродуктов / А.А. Дерканосова, А.А. Орничева // Вестник Международной академии холода. - 2017. - № 1. - С. 31-34. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-31-34>
25. Дерканосова, А.А. К вопросу сохранности в консервированных кормах витаминов группы В / А.А. Дерканосова, А.С. Муравьев, Н.М. Ильина, Д.В. Харитонов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. - 2017. Т. 5. - № 2. - С. 87-92. <https://doi.org/10.14529/food170211>
26. Дранников, А.В. Управление процессом сушки высоковлажных дисперсных материалов при пониженном давлении сушильного агента / А.В. Дранников, Е.В. Костина, А.А. Дерканосова, А.М. Бородовицын // Автоматизация. Современные технологии. - 2017. Т. 71. - № 6. - С. 248-250.
27. Василенко, В.Н. Математическое обеспечение процесса экструдирования anomalно вязких сред методами планирования эксперимента / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, А.А. Дерканосова, Н.А. Михайлова, А.А. Щепкина, А.М. Давыдов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2018. Т. 80. - № 3 (77). - С. 37-42. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-37-42>
28. Дранников, А.В. Влияние режимов сушки свекловичного жома на выход пектина / А.В. Дранников, С.А. Титов, А.А. Дерканосова, А.С. Полканов, А.М. Бородовицын // Пищевая промышленность. - 2019. - № 2. - С. 49-51. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-35-40>
29. Курчаева, Е.Е. Разработка технологических подходов к процессу гранулирования комбикормов для молодняка кроликов / Е.Е. Курчаева, А.В. Востроилов, А.А. Дерканосова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. - 2019. Т. 7. - № 4. - С. 64-74. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-176-184>
30. Казьмина, И.В. Особенности логистического обеспечения высокотехнологичного предприятия / И.В. Казьмина, А.А. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2020. Т. 82. - № 1 (83). - С. 333-339. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-333-339>
31. Шевцов, А.А. Разработка технологии получения высокоэффективных полнорационных гранулированных комбикормов / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.В. Востроилов, Е.Е. Курчаева, А.А. Дерканосова, А.А. Торшина // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2020 Т. 82. - № 2. - С. 137-145. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-137-145>

Статьи в базах данных Scopus и WoS

1. Af O. Physicochemical, functional and sensory properties of acha-tamba based ogi enriched with hydrolysed soy peptides / A. f O., O. a U., Hleba L., Cisarová M., Glinushkin A.P., Laishevcev A., Derkanosova A., Pigorev I.Ya., Plygun S.A., Ali Shariati M. // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. T. 9. № 4. С. 824-830. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.823-830>
2. Drannikov, A.V. Phytoiotics as an alternative to antibiotics in feeding farm birds / A.V. Drannikov, A.A. Derkanosova, A.A. Korotaeva, A.A. Orinicheva, A.Yu. Iskusnykh, E.V. Litvinov // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 341 (2019) 012051 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012051>
3. Drannikov, A.V. Study of feed protein supplement with the prop-erties of phytoiotics / Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Orinicheva A.A., Pribytkov A.V. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great. 2020. C. 012086. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012086>
4. Mushtaq, B.S. Characterization of moringa oleifera leaves and its utilization as value added ingredient in unleavened flat bread (chapatti) / Mushtaq B.S., Pasha I., Omer R., Hussain M.B., Tufail T., Shariati M.A., Der-kanosova A.A., Shchetilina I.P., Popov E.S., Popova N.N., Oseneva O.V., Kharitonov D.V. // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2018. T. 8. № 1. C. 751-755. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.8.1.751-755>
5. Nina, G.C. Investigation of physiochemical and storage conditions on the properties of extracted tiger nut oil from different cultivars / Nina G.C., Ukeyima M., Ogori A.F., Hleba L., Hlebová M., Glinushkin A.P., Laishevcev A., Derkanosova A., Pigorev I.Ya., Plygun S., Ali Shariati M. // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. T. 9. № 5. C. 988-993. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.5.988-993>
6. Ogori A.F. Effects of dehydration on the physiochemical character-istics of to-mato, onion and pepper powdered culinary blends / Ogori A.F., Amove J., Adoba J.A., Hleba L., Cisarová M., Glinushkin A.P., Laishevcev A., Derkanosova A., Pigorev I.Ya., Plygun S.A., Ali Shariati M. // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. T. 9. № 5. C. 994-997. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.5.994-997>
7. Ogori, A.F. Physicochemical, functional and sensory properties of achatamba based ogi enriched with hydrolysed soy peptides / A. F. Ogori, O. A. Uzor, H. Lu-kas, Cisarová M., Glinushkin A.P., Laishevcev A., Derkanosova A.A., Pigorev I.Ya., Plygun S.A., Ali Shariati M. // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. T. 9. № 4. C. 824-830. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.823-830>
8. Shevtsov, A.A. Experimental and analytical study of the beet pulp drying process by overheated steam in active hydrodynamic conditions / Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Muravev A.S., Kvasov A.V. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. № 1. C. 5754. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2017.5754.5760>
9. Shevtsov, A.A. Preparation and application of fodder vitamin additive choline chloride B₄ on the basis of dried beet pulp in premix composition / Shevtsov A.A., Drannikov A.A., Derkanosova A.A., Borodovicyn A.M., Glebova V., Gurin A.G. // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. 2017. T. 6. № 1. C. 217-226.

Патенты на изобретения и свидетельства РОСПАТЕНТА

1. Пат. 2346988 Российской Федерации, МПК51 С13С 3/00, А23В 7/02. Способ производства сухого свекловичного жома / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Кузнецов Д.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2007134613/13; заявл. 17.09.2007; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 11.

2. Пат. 2356907 Российской Федерации, МПК51 C07J 1/00, G05D 27/00. Управление процессом получения сыпучей формы порошкообразного холинхлорида из его водного раствора / Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Лыткина Л.И., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Кузнецов Д.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2007146080/04; заявл. 11.12.2007; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15.
3. Пат. 2377488 Российской Федерации, МПК51 F 26 B 17/12. Конвективная сушилка / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Ясиневская В.П., Бритиков Д.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2008140886/06; заявл. 16.10.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.
4. Пат. 2412436 Российской Федерации, МПК51 G 01 N 33/00. Способ определения количества холинхлорида в премиксах / Шевцов А.А., Кучменко Т.А., Шенцова Е.С., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Минакова Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2009132062/13; заявл. 25.08.2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. № 5.
5. Пат. 2528027 Российская Федерация, МПК⁵¹ A23K 1/14. Способ комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Ключников А.И., Коротаева А.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2013117658/13; заявл. 16.04.13; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25.
6. Пат. 2535559 С2 Российская Федерация, МПК⁵¹ A23K 1/16. Способ управления процессом получения сыпучей формы холинхлорида на основе сухого свежловичного жома / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Амелин И.И.; заявитель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2013113599/13; патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «СуперАгро»; заявл. 27.03.2013; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 28.
7. Пат. 2581012 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ F26B 25/22. Способ автоматического управления процессом сушки высоковолажных дисперсных материалов / Шевцов А.А., Дранников А.В., Куцов С.В., Дерканосова А.А., Костина Е.В., Квасов А.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2015111668/06; заявл. 01.04.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
8. Пат. 2586898 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ A23N 12/04. Способ влаготепловой обработки зерна крупяных культур / Дранников А.В., Дерканосова А.А., Садовская Н.О., Лыткина Л.И., Шевцов С.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2015111662/13; заявл. 01.04.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16.
9. Пат. 2603225 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ F26B 17/10, F26B 17/26 Установка для сушки дисперсных высоковолажных материалов / Шевцов А.А., Дранников А.В., Костина Е.В., Дерканосова А.А., Квасов А.В., Питькова Ю.А., Мочалова А.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2015126304/06; заявл. 02.07.2015; опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33.
10. Пат. 2603899 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ A23L 35/00. Способ управления процессами комплексной переработки вегетативной массы зеленых растений / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Ключников А.И., Коротаева А.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2015126526/13; заявл. 03.07.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
11. Пат. 2640843 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ A23L 33/15, A23K 10/30, C07C 215/40. Способ получения микрокапсулированного холинхлорида из его водного раствора / Шевцов А.А., Дранников А.В., Шенцова Е.С., Дерканосова А.А., Костина Е.В., Квасов А.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2016143109; заявл. 02.11.2016; опубл. 12.01.2018, Бюл. № 2.

12. Пат. 2674610 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ А23L 3/40, СПК52 А23L 3/40. Способ сушки высоковлажных дисперсных материалов и установка для его осуществления / Дранников А.В., Шевцов А.А., Костина Е.В., Дерканосова А.А., Бородовицын А.М., Полканов А.С.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2017140289; заявл. 21.11.2017; опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35.

13. Пат. 2674613 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ А21D 8/02, СПК⁵² А21D 8/02. Способ производства хлеба с добавлением шишек хмеля / Дерканосова А.А., Ориничева А.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2017146643; заявл. 28.12.2017; опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35.

14. Пат. 2686979 С1 Российская Федерация, МПК С12F 3/10, СПК С12F 3/10 (2019.02). Линия для переработки спиртовой барды / Дерканосова А.А., Дранников А.В., Муравьев А.С., Ориничева А.А., Попов Д.В. патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «ИнтерВетФарм» - № 2017145986; заявл. 26.12.2017; опубл. 06.05.2019, Бюл. № 13.

15. Пат. 2687022 С1 Российская Федерация, МПК А23L 33/15, А23К 10/30, А23К 40/30, G05B 13/00, СПК52 А23К 40/00, А23L 33/15, А23К 10/30, А23К 40/30, G05B 13/00 (2019.02). Способ управления получением микрокапсулированного холинхлорида / Дерканосова А.А., Дранников А.В., Ходякова В.А., Ориничева А.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. - № 2018126229; заявл. 17.07.2017; опубл. 06.05.2019, Бюл. № 13.

Подписано в печать 25.09.2020. Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л. 2 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