

На правах рукописи



Айсунгуров Ноха Джабраилович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОПЧЁННОГО
КУРДЮЧНОГО САЛА В ВИДЕ ГРАНУЛ С ЗАЩИТНЫМ
БИОПОКРЫТИЕМ**

Специальность 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова")

Научный руководитель:

кандидат технических наук
Эльмурзаев Аюб Абдулаевич

Официальные оппоненты:

Кудряшов Леонид Сергеевич
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ «Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова»
РАН, главный научный сотрудник

Шубкин Сергей Юрьевич

кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный
университет им. И.А. Бунина», доцент ка-
федры технологических процессов в ма-
шиностроении и агроинженерии

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджет-
ное образовательное учреждение выс-
шего образования «Кемеровский
государственный университет»,
г. Кемерово

Защита состоится «23» июня 2022 г. в 10⁰⁰ ч. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

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

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «19» апреля 2022 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Автореферат разослан «16» мая 2022 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01,
профессор



Л.Н. Фролова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В ноябре 2019 года Департамент пищевой и перерабатывающей промышленности Министерства сельского хозяйства Российской Федерации вынес на рассмотрение проект стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. В частности, в документе отмечается диверсификация направлений деятельности сельскохозяйственных предприятий, например, крупные животноводческие предприятия, ранее осуществлявшие только убой и разделку, начинают развивать производство готовой мясной продукции, а отдельные производители зерна развивают собственную переработку зерна. При этом, несмотря на прирост производства мяса скота и птицы в Российской Федерации, мясоперерабатывающая промышленность продолжает испытывать дефицит отдельных видов сырья, что покрывается за счет импорта.

К одному из перспективных путей развития технологии и техники можно причислить расширение ассортиментного состава материалов с развитой структурной организацией, посредством улучшения их вкусовых ощущений и ароматных оттенков копчением природной дымовоздушной смесью, что, кроме того обуславливает рост продолжительности их хранения. Для обеспечения повышения эффективности копчения дымовоздушной смесью, в частности, материалов с развитой структурной организацией, целесообразна разработка интенсивных операций проникновения частиц копильной смеси в материал при устранении негативного влияния лимитирующих процесс факторов. Также особый интерес вызывает применение биоразлагаемых полимеров для повышения сохранности готовой к употреблению пищевой продукции, на основе которых формируют покрытия, которые способствуют повышению сроков хранения продуктов с минимальной потерей в них пищевой ценности. В последние годы применение в пищевой индустрии экологически безопасных защитных покрытий вызывает интерес в увязке с повышением требований к технологическим параметрам хранения и употребления пищевых материалов, таких как твердые животные жиры.

Таким образом, исследование и анализ варьирования комплексных физико-химических и энергетических параметров при дымном копчении твердых животных жиров, последующем их гранулировании и нанесении на поверхность получаемых гранул биоразлагаемого полимерного геля, который впоследствии подвергается обезвоживанию, дают возможность производить натуральные копченые гранулированные продукты с заданными потребительскими свойствами, востребованными на отечественном рынке, при увеличении сроков хранения.

Степень её разработанности. Возможности научного и практического снятия выявленных проблем при разработке оригинальных и востребованных материалов с развитой структурной организацией изучал ряд российских и зарубежных исследователей. Существенное влияние на развитие теории копчения, разработку и внедрение новых копильных агрегатов оказали И.А. Рогов, В.И. Курко, А.М. Ершов, Ю.А. Фатыхов, Г.И. Касьянов, В.А. Оноприйко, С.В. Шахов и др. Следует отметить, что актуальность решения задач по расширению ассортиментного состава материалов с развитой структурной организацией, посредством улучшения их вкусовых ощущений и ароматных оттенков копчением, обуславливает и необходимость обеспечения роста продолжительности их хранения.

С целью увеличения сопротивляемости внешней среде гранулированных

пищевых продуктов, в основе которых присутствуют животные жиры, в настоящий момент реализуются приемы их защиты специализированными поверхностными пленками путем их нанесения на материал и последующей сушки. Такой подход обуславливает рост продолжительности их хранения при минимизации потерь высоких качественных параметров у готовых продуктов. Из ряда ученых, работающих в области обезвоживания, термовлажностного воздействия на объект переработки и в иных смежных, изучаемой тематике профилях, можно выделить труды зарубежных исследователей, таких как Т. Kudra, A.S. Mujumdar, James R. Couper и W. RoyPenny, Gavin P. Towler и Ray K. Sinnott и др. Среди отечественных исследователей, внесших значительный вклад в развитие теории и техники сушки материалов различной природы, это: А.С. Гинзбург, А.В. Лыков, Г.К. Филоненко, П.А. Ребиндер, С.П. Рудобашта, И.А. Рогов, И.Ю. Алексанян, Е.П. Кошевой, А.Н. Остриков и др.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является разработка рациональных режимных параметров процессов в оригинальной энергосберегающей технологии копченного гранулированного курдючного сала с защитным биоразлагаемым съедобным покрытием для увеличения сроков хранения.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить и системно проанализировать преимущества и негативные стороны известных способов промышленной переработки курдючного сала для создания его эффективной технологии в аспектах улучшения потребительских показателей и увеличения сроков хранения;
2. Для разработки оригинальной технологии копченного гранулированного курдючного сала в защитном покрытии комплексно исследовать его физико-химические и реологические характеристики с учетом технологических ограничений;
3. Определить теплофизические и структурно-механические характеристики курдючного сала, закономерности их варьирования, выбрать защитное покрытие, а также оценить теплофизические параметры процедуры обезвоживания защитного биоразлагаемого слоя;
4. Выявить кинетические закономерности процессов формирования курдючного штранга, насыщения его копильными компонентами и последующего гранулирования, а также конвективной сушки гранулированного продукта, как двухслойного материала;
5. Построить, адаптировать к объектам исследования и решить математические модели процедур формирования штранга и конвективной сушки поверхностного слоя гранулированного продукта;
6. На основе анализа результатов проведенных исследований разработать рациональные конструкторские решения для реализации предлагаемой технологии и дать рекомендации по их промышленному использованию.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

1. Для курдючного сала был разработан способ его переработки, включающий процедуры формирования полого штранга, интенсивного его насыщения копильными компонентами, гранулирования, нанесения защитного съедобного покрытия на гранулы и «бережной» сушки поверхностного слоя;
2. Комплексно исследованы физико-химические, теплофизические и структурно-механические характеристики для копченного гранулированного курдюч-

ного сала с учетом технологических ограничений, а также определены теплотехнические параметры процедуры обезвоживания поверхностного слоя;

3. Получены кинетические закономерности процессов формирования курдючного штранга, насыщения его копильными компонентами и последующего гранулирования, а также конвективной сушки гранулированного продукта, как двухслойного материала;

4. Адаптированы к объектам исследования и решены математические модели процедур формирования штранга и конвективной сушки поверхностного слоя гранулированного продукта;

5. Разработаны рациональные конструкторские решения для реализации предлагаемой технологии.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость работы определяется осуществлением комплексного изучения физико-химических, теплофизических и структурно-механических свойств курдючного сала и защитного покрытия, процесса его конвективной сушки. В результате появилась возможность выявления рациональных параметров формирования, копчения, гранулирования и обезвоживания, обеспечивающие высокие потребительские показатели у конечного продукта, увеличение сроков его хранения и устойчивость на поверхности гранулы нанесенного защитного покрытия, а также снижение энергоемкости реализуемых процедур разработанной технологии.

Практическая значимость определяется возможностью практической реализации биополимерных пленок на базе альгината натрия при защитном контакте с курдючным жиром, предварительно прошедшем процессы формирования, копчения и гранулирования. Обозначенные теоретические и практические результаты и выводы можно рекомендовать при промышленном внедрении предложенной технологии на предприятиях АПК. Рекомендовано рациональное конструктивное оформление сушильного агрегата с возможностью нанесения защитного покрытия на гранулы и его «бережного» обезвоживания в рамках технологических ограничений (Пат. 207 3164 РФ, «Роторная сушиллка»).

Выводы и рекомендации приняты для применения при реализации технологических операций на пищевых перерабатывающих предприятиях Чеченской республики: ООО «Аргунский мясокомбинат» и ООО «Лидер-А».

Методология и методы исследования.

Базой основной части исследований послужили исследование кинетических, динамических и термодинамических закономерностей процессов трансфера массы и тепловой энергии, их систематизация и анализ, опирающийся на теоретические и авторские эмпирические данные, полученные по определенным обособленным методикам и нужные для повышения интенсивности изучаемого переноса тепла и массы в сырье животного происхождения и полученных гранул, а также адаптации математических моделей формирования штранга и тепломассопереноса к объекту исследования и их численного решения. В целях нахождения комплекса параметров применялся адаптированный к объекту изучения и реализуемым процессам методический и инструментальный аппарат.

В целом можно отметить, что для осуществляемых опытных серий, построения и решения математических моделей для исследуемых в работе технологических операций были привлечены современное программное обеспечение и приборная техника, а также разработанные экспериментальные стенды.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты теоретических и эмпирических исследований физико-химических, теплофизических и структурно-механических характеристик для копченого курдючного сала с учетом технологических ограничений, а также теплотехнических параметров процедуры обезвоживания поверхностного слоя;

2. Результаты анализа кинетических закономерностей процессов формирования курдючного штранга, насыщения его копильными компонентами и последующего гранулирования, а также конвективной сушки гранулированного продукта, как двухслойного материала;

3. Результаты адаптации математических моделей процедур формирования штранга и конвективной сушки поверхностного слоя гранулированного продукта и их решения;

4. Рациональные технические решения для реализации предлагаемой технологии.

Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью полученных эмпирических данных, результатов решения математической модели (в интервале 5÷7%) и натурального тестирования; отсутствием конфликта между выявленными научными и практическими выводами и известными общими, а также частными научно-техническими положениями; обоснованием разработанных опытно-конструкторских решений с учетом опыта практической реализации подобных разработок.

Апробация результатов диссертационного исследования.

В основном результаты диссертационного исследования представлены и обсуждены на конференциях различного уровня, таких как: Всеросс. междисциплинарная науч. конф. «Наука и практика – 2020» (Астрахань, 2020); VI Межд. науч.-практ. конф. «Инновационный дискурс развития современной науки» (Петрозаводск, 2021); Межд. конф. «Advanced Technologies in Agriculture and Food Processing» TAIFP-2021, (Prague, 2021); Межд. науч.-практ. онлайн-конф., приуроченная к 60-тилетию член-корр. Академии наук ЧР, д.т.н. С.Ю. Муртазаева (Грозный, 2021); Межд. науч.-практ. конф. «Концепции устойчивого развития науки в современных условиях» (Уфа, 2021); Межд. науч.-практ. конф. «Стимулирование научно-технического потенциала общества в стратегическом периоде» (Киров, 2021).

Публикации. Опубликовано 12 научных работ по материалам диссертации, в их числе 3 статьи, которые включены в перечень ВАК РФ, одна статья в базе данных Scopus, а также получен один патент на полезную модель и одно свидетельство на ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация состоит из 5 глав, в т.ч. введения; аналитического обзора литературы; результатов собственных исследований; выводов; списка использованных источников литературы и приложений. Основное содержание изложено на 151 страницах печатного текста, включает 27 таблиц, 64 иллюстраций, 155 литературных источников (включая 6 иностранных), 19 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика исследования, определены его актуальность, цель и задачи, научная новизна, а также значимость с теоретической и практической точек зрения, проведена оценка степени разработанности под-

ходов к устранению поставленной проблемы и полноты апробации результатов исследования.

В первой главе представлена информация об объекте исследования, существующих технологиях получения копченнной пищевой продукции и технических решений для их реализации, выборе перспективных способов копчения и гранулирования, применительно к изучаемому объекту, и защитного биопокрытия для него, перспективных способов и технических решений поверхностной обработки гранул защитным биопокрытием, включая его сушку, а также приведен анализ существующих математических моделей, описывающих процессы копчения и конвективной сушки пищевых материалов.

Вторая глава содержит описание разработанной оригинальной технологической схемы производства копченного гранулированного курдючного сала и оригинальной методики экспериментального нахождения коэффициента динамической вязкости для высоковязких сред, результаты изучения и анализа комплекса целевых характеристик курдючного полуфабриката, как объекта дальнейшего гранулирования и копчения, а также экспериментального определения количества влаги в исходном курдючном сале и анализа ее состояния в нем.

Процедура измельчения курдючного сала необходима для интенсификации массопереноса при операции его копчения, вследствие увеличения площади поверхности контакта между частицами продукта и копильным дымом и увеличения пористости диспергируемого материала. Следует отметить, что пористость диспергированного продукта находится во взаимосвязи со степенью его измельчения и, как следствие тоже обуславливает интенсивность массопереноса.

Сложность применения традиционных методов дисперсного анализа для пастообразных материалов, учитывая их высокие когезионные свойства, обуславливает целесообразность использования тактильных и визуальных методов оценки степени измельчения по технологическим критериям. Грубое измельчение курдючного сала позволяет получить размер его частичек от 5 до 2 мм в зависимости от продолжительности процесса, а при тонком измельчении до 0,5 мм. Исследуемое свежее курдючное сало, предварительно нарезанное кубиками 20×20 мм, измельчали на куттере фирмы «Robot Coupe». Результаты проведенных исследований по определению продолжительности процесса измельчения сала представлены в таблице 1.

Таблица 1

Условная степень измельчения сала в зависимости от его продолжительности

Вид сырья	Продолжительность измельчения, с	Условная степень измельчения, м/м	Свойство объекта, воспринимаемое тактильным ощущением
Курдючное сало	3...4	≈4	Грубое измельчение
	5...6	≈5	Грубое измельчение
	7...8	≈7	Промежуточное значение
	9...10	≈10	Близкое к тонкому
	11...12	≈40	Тонкое измельчение

Процедура посола курдючного сала необходима для консервирования продукта, т.е. увеличения его сроков хранения и придания ему специфических вкусовых ощущений. Следует отметить, что концентрация соли является не варьируемым параметром при исследовании, а нормируется при индустриальном производстве данного продукта. Кроме того, концентрация соли или соленость продукта

определяет не только его вкусовые качества, но и комплекс его физико-химических характеристик, и по этой причине, также косвенно влияет на интенсивность массопереноса. Уровень солености находился посредством кондуктометрического солемера фирмы «АТАГО», в итоге средняя концентрация соли в продукте была выявлена на уровне 2,1%. Полученные результаты показали их соответствие установленным нормам.

Одной из основных характеристик пищевого материала является ее физическая плотность, определяемая, например, пикнометрическим методом. Результаты экспериментов по определению физической плотности курдючного полуфабриката ρ_f , показали, что ее усредненная величина равна 802 кг/м^3 .

Учитывая, что жиры являются смесью различных глицеридов с разными температурами плавления, то их переход из твердого состояния в жидкое совершается не сразу, поэтому его сложно уловить. Из чего следует, что температура плавления жиров не является точной константой. Анализ литературных данных показал, что температура плавления жира (кроме курдючного) находится в диапазоне от 44 до 55°C , курдючного от 33 до 44°C ; температура застывания $34 \dots 45^\circ\text{C}$, курдючного – $32 \dots 41^\circ\text{C}$.

Определение коэффициента динамической вязкости исследуемого сала производилось на структурометре СТ-2. Следует отметить, что критериальные уравнения, описывающие кинетику гравитационного осаждения, в частности, уравнение Стокса, для высоковязких сред, таких как курдючный жир, не пригодны. Это связано с тем, что индентор не будет осажаться под действием силы тяжести в измельченном сале и для его продвижения необходимо создание дополнительных усилий. Поэтому в исходном уравнении гравитационного осаждения появляется дополнительная сила, вследствие чего необходимо получить оригинальное модифицированное критериальное уравнение.

Физическая модель продвижения индентора в исследуемой среде представлена на рисунке 1. Согласно динамической модели движения индентора уравнение



Рисунок 1. Динамическая модель движения индентора: 1 – индентор; 2 – рабочий элемент индентора; 3 – исследуемая среда; 4 – резервуар

суммы сил, действующих на него, представляется в виде:

$$F_T + F_D - F_A - F_C = F_{ин}, \quad (1)$$

где $F_T = m_T g$; $F_D = m_{ж} a$; $F_A = m_{ж} g$; $F_C = \mu S \frac{dW}{dn}$; $F_{ин} = m_T \frac{dW}{dt}$, Н; m_T – масса индентора, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $m_{ж}$ – масса вытесненной исследуемой среды, кг; a – ускорение от приложенной F_D , м/с^2 ; μ – коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$; S – площадь поверхности рабочего органа индентора, м^2 ; $\frac{dW}{dn}$ – градиент скорости, с^{-1} ; $\frac{dW}{dt}$ – ускорение от $F_{ин}$, м/с^2 .

Согласно допущениям, принятым в теории физического подобия, величины, входящие в уравнение 1 заменяем на величины им пропорциональные:

$$C_1 d^3 \rho_T g + C_1 d^3 \rho_T a - C_1 d^3 \rho_{ж} g - \mu C_2 d^2 \frac{W}{d} = C_1 d^3 \rho_T \frac{dW}{dt}, \quad (2)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты формы при объеме и площади поверхности рабочего органа индентора соответственно, которые равны единице, вследствие шарообразной формы рабочего органа; d – диаметр рабочего органа индентора, м; ρ_T – плотность материала индентора, кг/м³; $\rho_{ж}$ – плотность исследуемой среды, кг/м³.

Исходя из того, что скорость индентора в эксперименте постоянна, то $\frac{dW}{d\tau} = 0$, и как следствие, $F_{ин} = 0$. Тогда преобразованное уравнение 2 примет следующий вид:

$$\mu W d - d^3 g (\rho_T - \rho_{ж}) = d^3 \rho_T a. \quad (3)$$

Согласно теории подобия, можно использовать критерии и их произведения, также любой из комплексов можно умножить на симплекс. В итоге, поделив левую часть уравнения 3 на правую часть, получим искомые безразмерные критерии подобия, а т.к. классически критериальные уравнения представляются в степенной форме, получим искомое соотношение в следующем виде:

$$Re_m = K Ar_m^x, \quad (4)$$

где K и x – являются эмпирическими коэффициентами.

Таким образом, мы имеем две неизвестных переменных в уравнении 4, вследствие чего были проведены два корректных эксперимента с модельными средами (свиное сало) близкие по своему строению и находящиеся в данной области физического подобия (рис. 1), для которых известен коэффициент динамической вязкости. В итоге решив систему из двух степенных уравнений были найдены искомые коэффициенты $K = 9,536$ и $x = -0,196$, и в последующем коэффициент динамической вязкости для измельченного курдючного сала μ , который составляет: $\mu = 567,6$ Па·с.

Влажность курдючного жира определялась на влагомере AND MX-50, использующий метод нагрева. Экспериментальное определение содержания влаги в курдючном сале проводилось при температуре 105°C, согласно принятым рекомендациям к прибору. На основе проведенного исследования получена графическая зависимость влажности от продолжительности опыта. В результате полученная влажность исследуемого продукта составляет $W = 7\%$.

Очевидно, что практически вся влага, находящаяся в исследуемом про-

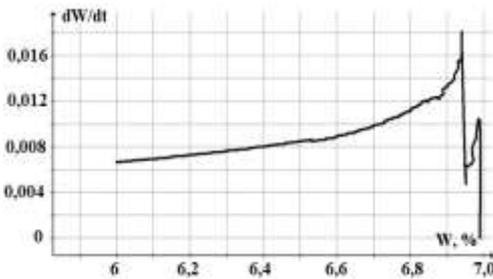


Рисунок 2. Начальный участок кривой скорости сушки.

дукте, находится в связанном состоянии, что требует подтверждения. В связи с этим необходимо провести обезвоживание курдючного сала, используя тот же анализатор влажности, и на основе полученных результатов построить кривую скорости сушки (рис. 2). Поскольку сушка является типичным тепло- и массообменным процессом, то ее кинетика и будет определять форму связи влаги с материалом.

Анализ полученной кривой подтверждает, что практически вся влага в исследуемом продукте находится в связанном состоянии и в основном это химическая связь. Необходимо отметить, что, хотя резкой границы между отдельными

формами связи жидкости не существует, здесь отчетливо наблюдается превалирование одного вида связи над другим.

В третьей главе представлены результаты изучения и анализа теплофизических и структурно-механических характеристик копченного курдючного полуфабриката и биоразлагаемого съедобного покрытия, а также теплотехнических параметров процедуры обезжиривания.

Удельная теплоёмкость пищевых материалов, является функцией температуры и обладает рядом особенностей в области фазовых переходов. В проведении экспериментов по нахождению этой теплофизической характеристики применялся калориметрический метод, который позволяет в течение нескольких минут получить результат. В итоге проведенных опытных исследований среднее значение удельной теплоёмкости для копченного курдючного полуфабриката C_m составляет 4458 Дж/(кг·К).

Значение коэффициента теплопроводности для измельченного курдючного жира λ_1 определялась экспресс методом, основанным на учете теплоинерционных свойств термопары, который позволяет быстро его определить непосредственно в процессе его термической обработки. Определение λ_1 проводилось в два этапа, сначала определяли постоянную термопары β , а потом, при известном β и площади S , ограниченной кривой $\Theta = f(\tau)$, которая характеризует прогрев термопары при быстром погружении ее в исследуемую среду, вычисляли λ_1 .

В результате проведенных экспериментов посредством использования программы «ThermoChart» была получена кривая зависимости температуры зонда, быстро помещенного в исследуемую среду, от времени. Затем, используя данные графика изменения температуры зонда от времени и пересчета температурных значений в безразмерный вид, была получена зависимость: $\Theta = f(\tau)$:

$$\Theta = -0,000226\tau^3 + 0,0109\tau^2 - 0,1754\tau + 0,968. \quad (5)$$

Интегрирование уравнения 5 в диапазоне $0,6 \leq \tau \leq 21,6$ дает искомую величину площади $S = 3,758$. В этом случае величина коэффициента теплопроводности для измельченного курдючного жира будет равна: $\lambda_1 = 0,297$ Вт/(м·К).

Зная, что коэффициент температуропроводности исследуемой среды a_1 находится в зависимости от ее теплопроводности и массовой теплоемкости соотношением $(a_1 = \frac{\lambda_1}{c_m \rho})$, то его значение легко вычислить: $a_1 = 8,31 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

Данные по структурно-механическим и теплофизическим характеристикам биополимерного покрытия необходимы вследствие того, что консервация копченного продукта в виде гранул осуществляется совместно с биоразлагаемым полимером. Отметим, что в работе использовались данные, подробно представленные в диссертации Никулиной М.А.

Общий вид аппроксимирующей зависимости коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К) биополимерного геля от температуры T , К в интервале $300 \text{ K} \leq T \leq 333 \text{ K}$ и влажности W , кг/кг в интервале $0,1 \text{ кг/кг} \leq W \leq 1 \text{ кг/кг}$ имеет вид:

$$\lambda = (aT + b)W^2 + (cT + d)W + (eT + f), \quad (6)$$

где a, b, c, d, e, f – эмпирические коэффициенты (табл. 2).

Таблица 2.

Значения коэффициентов a, b, c, d, e, f для уравнения 6

a	b	c	d	e	f
0.00048	-0.0434	0,0024	-0.753	-0.0018	1.024

Общий вид аппроксимирующей зависимости коэффициента теплоемкости c_m , Дж/(кг·К) биополимерного геля от влажности W , кг/кг, в тех же температурных и влажностных интервалах имеет вид:

$$c_m = 2540W + 1647. \quad (7)$$

Зависимость физической плотности от влажности материала покрытия W , кг/кг, в тех же температурных и влажностных интервалах имеет вид:

$$\rho_\phi = 244W + 924. \quad (8)$$

Общий вид аппроксимирующей зависимости коэффициента температуропроводности a , (м²/с) биополимерного покрытия от влажности W , кг/кг в тех же температурных и влажностных интервалах имеет вид:

$$a \cdot 10^7 = (aT + b)W^2 + (cT + d)W + (eT + f), \quad (9)$$

где a, b, c, d, e, f – эмпирические коэффициенты (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициентов a, b, c, d, e, f для уравнения 9

a	b	c	d	e	f
-0.009	4.957	0,022	-10.455	-0.01	6.075

Следует отметить, что при консервации курдючных гранул будет использоваться полимерное биопокрытие, поэтому следует привести данные по величине его удельной теплоты испарения, изменяющейся в зависимости от влажности материала.

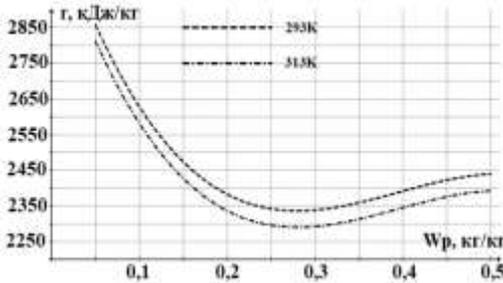


Рисунок 3. Графическая зависимость удельной теплоты парообразования в процессе сорбции паров воды полимерным гелем при температурах 293 К и 313 К

На рисунке 3 графически представлена зависимость удельной тепловой энергии испарения от равновесной влажности в процессе сорбции паров воды полимерным гелем. Характер этих зависимостей для исследуемого материала типичен для большинства растительных полимеров и обусловлен различными энергетическими формами связи влаги с ним. Точки перегиба на кривых соответствуют границам между различными формами связи влаги с материалом.

Теплообмен при движении теплоносителя через слой продукта является сложным процессом, зависящим от формы и размера высушиваемого материала, порозности слоя, физических свойств теплоносителя, его температур и т.д. В связи с этим, для расчета теплоотдачи α в стационарных условиях при движении газа через неподвижный слой материала с малой теплопроводностью в интервале $\lambda = 0,13 \dots 1,7$ Вт/(м·К) на основе обработки опытных данных различных исследователей предлагается следующее эмпирическое уравнение:

$$\alpha = 0,123\lambda_{ж}l_3^{-0,17} \left(\frac{\rho}{\mu_{ж}}\right)^{0,83} \nu^{0,83}, \quad (10)$$

для которого величины $\lambda_{ж}$, ρ и $\mu_{ж}$ для теплоносителя уже известны, а эквивалентный размер l_3 выбирается в зависимости от габаритов получаемой гранулы.

На рисунке 4, в качестве примера, представлены зависимости коэффициента теплоотдачи курдючных гранул α , Вт/(м²·К) в интервалах температур 30...40°C от скорости теплоносителя от 0,5 до 8 м/с и эквивалентного размера от 0,014 до 0,025 м.

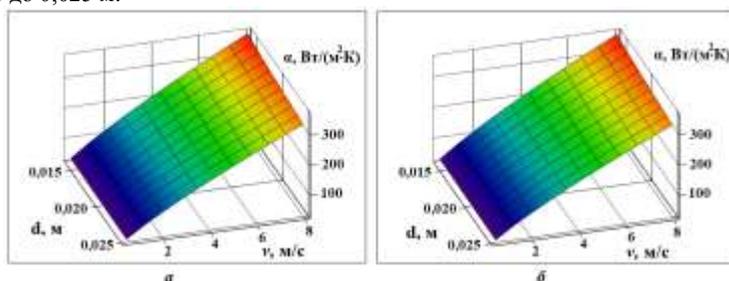


Рисунок 4. Графические зависимости α от размера гранул и скорости сушильного агента при его разных температурах: а. – 30°C; б. – 40°C

В итоге, для выполнения тепловых расчетов сушильного аппарата экспериментально и аналитически определены теплофизические характеристики объектов исследования, как двухслойного продукта в заданных диапазонах влажности и параметров теплоносителя, от которых зависит выбор рационального метода и режима сушки биоразлагаемого съедобного пленочного материала.

В четвертой главе показан численный расчет кинетики продвижения фронта скоростей в объекте исследования по диаметру фильеры в процессе формирования курдючного полуфабриката, представлены результаты исследования кинетики насыщения копильными компонентами и гранулирования курдючного полуфабриката.

Учитывая структурно-механические и реологические свойства неньютоновских вязкоупругих жидкостей при перемещении внутри каналов с круглым сечением (большая вязкость, малые диаметр штранга и скорость его продвижения, для полуфабриката по предлагаемой технологии $Re < 2320$) можно однозначно утверждать, что их движение протекает в ламинарном режиме.

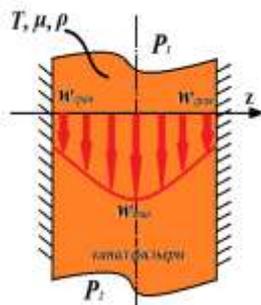


Рисунок 5. Схема профиля скоростей по сечению потока курдючного полуфабриката в канале фильеры

При движении реальной (вязкой) жидкости в ее потоке кроме сил давления и тяжести возникают силы трения, действие которых проявляется в возникновении внутри потока касательных напряжений. В таком случае для определения эволюции профиля скоростей по сечению потока, который можно принять одномерно плоским (рис.5), целесообразно тем или иным способом решить систему дифференциальных уравнений Навье–Стокса.

Исходя из этого, уравнение движения курдючного штранга в цилиндре фильеры, с учетом некоторых корректировок (подробно представлены в работе) и проведения математических преобразований, можно представить в следующем виде:

$$\frac{dw}{d\tau} = 1.33 \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = 1.33\nu \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \quad (11)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости $\text{м}^2/\text{с}$.

Для решения данного уравнения при определении граничных условий полагаем, что из-за сил трения между слоями они будут перемещаться с различными скоростями, причем центральный цилиндрический слой движется с максимальной скоростью. По мере удаления от него к периферии цилиндра скорость элементарных кольцевых слоев будет снижаться, а непосредственно у стенки фильеры жидкость как бы прилипает к ней и скорость на границе обращается в нуль. Однако в реальности граничная скорость $w_{\text{гр}}$ не равна нулю, вследствие проскальзывания жидкости вдоль стенки. Скорость проскальзывания $w_{\text{гр}}$ определялась путем оценки разности модельной скорости при нулевых граничных условиях и определенной экспериментальным путем скорости на выходе из фильеры.

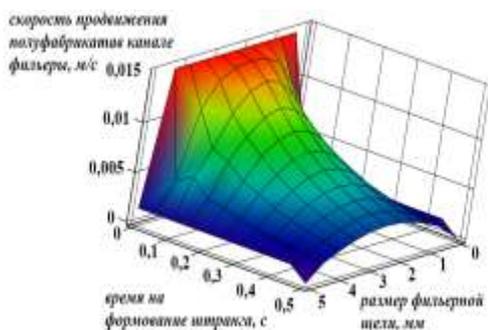


Рисунок 6. Эволюция полей скоростей курдючного полуфабриката по каналу фильеры

Для достижения поставленной цели, а именно расчета эволюции полей скоростей в процессе движения вязкоупругих материалов (курдючный полуфабрикат) по каналу фильеры, разработанная математическая модель (11) была решена известным численным методом конечных разностей. Ниже (рис. 6) представлена графическая интерпретация

расчета эволюции полей скоростей, в процессе движения исследуемого курдючного полуфабриката по каналу фильеры. Рассчитанное среднеобъемное распределение скорости по толщине курдючного полого цилиндрического штранга соответствует рекомендованному пороговому его значению на входе в вакуумную копильную камеру, равное $0,0023 \text{ м/с}$.

Степень прокопченности исследуемого продукта зависит от способа копчения, качества дыма, продолжительности обработки и других факторов, в частности от содержания фенолов в материале. Анализ содержания фенолов в полом штранге курдючного полуфабриката выполнялся методом, основанным на фотометрическом измерении интенсивности окраски продукта, зависящей от величины остаточной активности кислой фосфатазы, выраженной массовой долей фенола, в процентах. С целью экспериментального изучения процесса копчения курдючного полуфабриката, использовалась специально спроектированная для этих целей установка (рис. 7).

В результате проведенных экспериментальных исследований на фотометре фотоэлектрическом КФК – 3, получены средние значения величин оптической плотности фенольного раствора $D_{\text{ср}}$, соответствующие продолжительности насыщения τ копильными веществами курдючным полуфабрикатом при варьированной степени разрежения в дымоходе опытной установки (рис. 7).

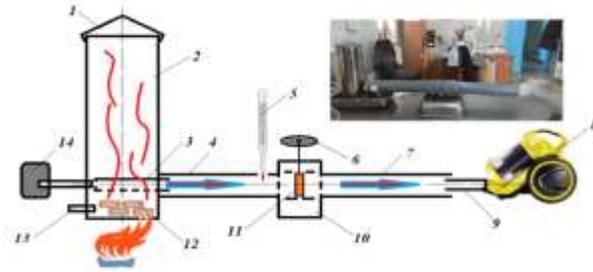


Рисунок 7. Схема экспериментальной установки для насыщения копильными веществами курдючного полуфабриката:

1 – крышка дымогенератора; 2 – генератор дыма; 3 – дымосборник; 4 – дымоход; 5 – термометр; 6 – устройство подачи продукта; 7 – патрубок для отвода дыма с разрежением; 8 – дымосос; 9 – патрубок для откачки дыма; 10 – узел копчения; 11 – продукт, подвергаемый копчению; 12 – опилки; 13 – окно розжига; 14 – компрессор.

На основании полученных данных, градуировочном графике для перевода экспериментально полученных значений оптической плотности D в концентрацию фенолов в полученных водных растворах и формуле их пересчета в концентрацию фенолов в курдючном полуфабрикате C построены кривые копчения (рис. 8) для объекта исследования при различной степени разрежения.

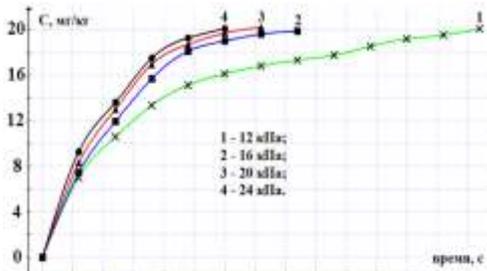


Рисунок 8. Кривые копчения курдючного полуфабриката толщиной 5 мм.

Значения температуры в камере копчения при вышеуказанных условиях проведения этого процесса выявило, что рациональная продолжительность проведения этой операции составляет 5 минут, при необходимом разрежении в камере копчения не ниже 25 кПа, что соответствует давлению, равному 187,5 Торр.

Анализ механизма внутреннего массопереноса при насыщении курдючного полуфабриката копильными компонентами производится на основании функциональной зависимости скорости копчения от концентрации образца фенолами (рис. 9), полученной путем математического описания эмпирической кривой 4, представленной на рисунке 8.

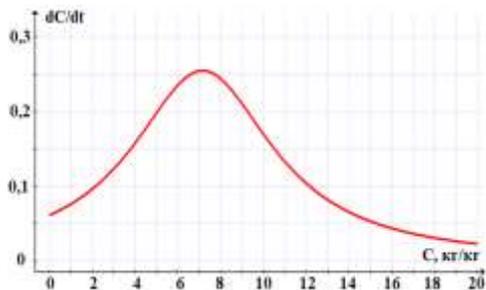


Рисунок 9. Кривая скорости копчения

Для обеспечения размера гранул в предлагаемой технологии курдючного гранулированного изделия необходима корреляция, между скоростью продвижения полого курдючного штранга $w_{\text{ср}}$, угловой скоростью $\omega_{\text{лоп}}$ и количеством лопастей с режущими кромками $m_{\text{лоп}}$.

Проведенные исследования позволили получить соотношение для определения необходимого количества оборотов вращения лопастей $n_{\text{лоп}}$ при заданных габаритных размерах получаемых гранул:

$$n_{\text{лоп}} = \frac{60w_{\text{ср}}}{l \cdot m_{\text{лоп}}}. \quad (12)$$

Таким образом, в данной главе сформулированы общая методика и все необходимые расчетные зависимости для рационального проектирования и конструирования аппарата, производящего курдючные копченые гранулы.

В пятой главе представлены результаты исследования кинетики конвективной сушки гранул, анализа механизма внутреннего влагопереноса при удалении влаги из объекта исследования, а также результаты построения и решения математической модели, описывающей этот процесс, дано описание оригинальной сушильной установки.

Кинетику обезвоживания защитного материала исследовали с помощью вероятностно-статистических методов планирования и обработки

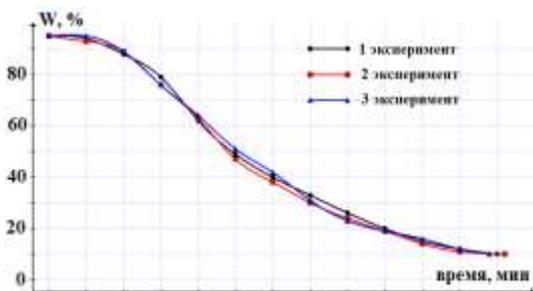


Рисунок 10. Экспериментально полученные кривые сушки объекта исследования

экспериментальных данных. В результате проведенных исследований построены кривые конвективной сушки биополимерного покрытия, нанесенного на гранулу, часть из которых представлена на рисунке 10. Рациональный

результат этих исследований был аппроксимирован полиномом четвертой степени:

$$W = 0,5494\tau^3 - 0,0194\tau^4 - 4,6846\tau^2 + 3,3694\tau + 95,2172, \quad (13)$$

где W – влажность покрытия, кг/кг; τ – продолжительность сушки, мин.

Анализ результатов экспериментальных исследований кинетики сушки показал, что на кривой скорости (рис. 11) наблюдаются два характерных периода обезвоживания, что не противоречит основным положениям теории сушки. Характер кривой является типичным для подобных продуктов, но имеет особенности, обусловленные многослойностью курдючной гранулы. Сало и покрытие имеют различные физико-химические свойства, что отражается не только на механизме обезвоживания, но и на эволюции полей температур в образце.

Аналитический расчет температур в объеме высушиваемого материала возможен при решении системы дифференциальных уравнений влаго- и теплопереноса, однако существует возможность решения только одного уравнения переноса тепла, в случае применения обобщенных экспериментальных данных по кинетике

удаления влаги из объекта сушки:

$$\frac{\partial T}{\partial C} = \frac{a}{\partial C} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r\rho}{c_V}, \quad (14)$$

где x – координата гранулы, м; a – температуропроводность материала, м²/с; $\frac{\partial C}{\partial \tau}$ – скорость сушки, кг/(кг·с); r – энергия затрачиваемая на фазовый переход и на разрыв связи влаги с материалом, Дж/кг; ρ – плотность материала, кг/м³; c_V – объемная теплоемкость материала, Дж/(м³·К).



Рисунок 11. Кривая скорости сушки

Решением уравнения (14) при краевых условиях является функция $T = f(C, x)$, поэтому для удобства дифференцирования, при численной реализации модели, влажность W была заменена концентрацией сухих веществ C , учитывая формулу их связи $C = 1 - W$. Граничные условия для теплообмена на поверхности материала связаны зависимостью:

$$-\lambda(C) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{c.a} - T_{пов}), \quad (15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $T_{c.a}$ – температура сушильного агента, К; $T_{пов}$ – температура поверхности материала, К.

Для решения поставленной задачи были получены комплексные зависимости характеристик по толщине двухслойного объекта обработки (рис. 12).

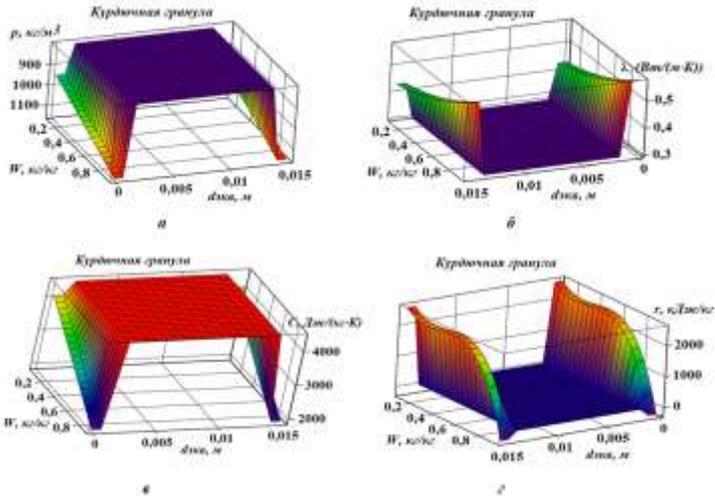


Рисунок 12. Изменение физических характеристик курдючной гранулы по его глубине: a – плотность; b – теплопроводность; v – теплоемкость; z – теплота парообразования

Дифференциальное уравнение (14) решалось фундаментальным методом конечных разностей. В ходе реализации математической модели определена эволюция полей температур по диаметру курдючной гранулы и изменению концентраций с учетом его поверхностной обработки, т.е. решена задача распределения температур для двух зон в зависимости от изменения толщины материала в процессе сушки и по изменяющемуся содержанию сухих веществ (рис. 13).

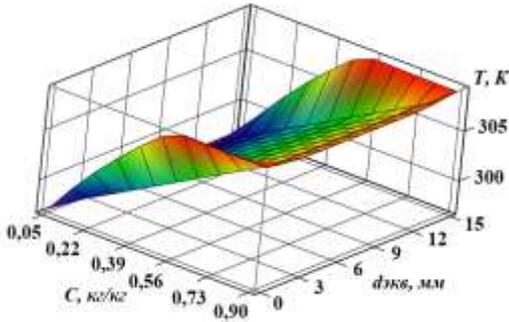


Рисунок 13. Трансформация полей температур в течении процесса обезвоживания защитного покрытия по диаметру курдючной гранулы

повышенных пороговых значений 306...317 К, что обуславливает сохранность качества при их дополнительной поверхностной обработке.

Решением одной из поставленных задач является разработанное устройство, позволяющее осуществить сушку пищевых продуктов в виде отдельных гранул с нанесением защитного покрытия, предотвращающего порчу продукта. Разработанное устройство представлено на рисунке 14.

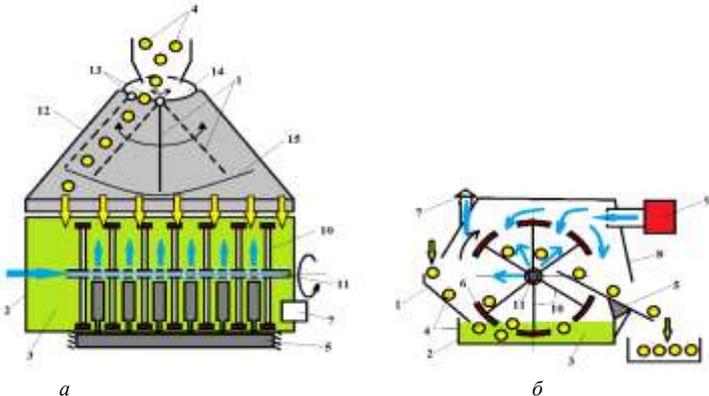


Рисунок 14. Роторная сушильная установка: *а* – загрузочное устройство; *б* – принципиальная схема работы сушильного устройства.

1 – вибрлоток; 2 – ванна с биополимерным покрытием; 3 – биополимерное покрытие; 4 – курдючные гранулы; 5 – рама с лопатками для выгрузки готового продукта; 6 – стержни с лопатками; 7 – вытяжной зонт; 8 – корпус; 9 – устройство для подвода сушильного агента; 10 – рабочие стержни; 11 – приводной вал; 12 – наклонная к горизонтали плоскость; 13 – направляющие вибрлотка; 14 – генератор вибровоздействия; 15 – ограничитель.

Для курдючной гранулы, исходя из полученной графической зависимости (рис. 13) его среднеобъемная температура растет плавно, что обусловлено прогревом материала за счет теплопроводности. При этом средние объемные температуры по диаметру гранулы не превышали рекомен-

Применение предложенной конструкции для многоступенчатой обработки курдючной гранулы обеспечивает синхронизацию технологических процессов и улучшает качество копченного липидного продукта в результате применения защитного покрытия. При корректировке режимных параметров данное устройство применимо для широкого спектра пищевого сырья животного происхождения. Если в качестве исходных данных принять те, что представлены в таблице 4, то съём готового продукта с единицы рабочего объёма сушильной камеры в час Y , кг/(м³·ч) будет равен 75,5 кг/(м³ · час).

Таблица 4

Исходные данные для расчета удельной производительности сушильной установки

m_i , кг	$n_{ур}$, шт.	$l_{сп}$, м	$d_{экв}$, м	n , об/час
0,002	8	0,3	0,015	4

Полученная удельная производительность подтверждает эффективность предложенного способа по отношению к известным методам сушки и установкам для сушки гранулированных пищевых продуктов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К основным выводам проведённого исследования можно причислить:

1. Систематизированы и проанализированы достоинства и недостатки существующих способов промышленной переработки курдючного сала для создания его эффективной технологии в аспектах улучшения потребительских показателей и увеличения сроков хранения, разработана оригинальная технология копченного гранулированного курдючного сала в защитном покрытии;

2. Комплексно исследованы физико-химические, реологические, теплофизические и структурно-механические характеристики курдючного сала с учетом технологических ограничений, выбрано защитное покрытие, а также проведена оценка теплотехнических параметров процедуры обезвоживания защитного материала;

3. Разработаны рациональные режимные параметры применяемых в технологии процедур подготовки исходного курдючного полуфабриката, его формования, копчения, гранулирования, а также сушки съедобного покрытия, нанесенного на курдючную гранулу:

- продолжительность измельчения курдючного сала на куттере составляет 3...4 минуты, при скорости ножей 30...40 м/с; концентрация соли в продукте составляет 2,1 %;

- исходная интенсивность перемещения потока курдючного полуфабриката на входе в фильеру $w_{нач} = 0,015$ м/с, его исходная $T_{нач} = 295$ К, коэффициент динамической вязкости при которой составит $\mu_{кл} \approx 567$ Пас, скорость на входе в вакуумную копильную камеру $w_{кон} = 0,0023$ м/с;

- температура дымовоздушной смеси – 35°C, толщина слоя в штранге 5 мм, при начальной температуре материала – 22°C, скорость движения дымовоздушной смеси не более 0,5 м/с, продолжительность процесса 5 минут, степень разрежения в дымоходе 24 кПа, конечная концентрация фенолов в продукте – 20 мг/кг.

- высота цилиндрической гранулы $l = 0,015$ м, количество оборотов вращения лопастей $n_{лоп} = 2,3$ об/мин, итоговый эквивалентный диаметр гранулы будет составлять 0,015 м;

- средний размер гранулы $d_{ср} = 0,015$ м, температура жидкого защитного геля – 20°C, температура гранулы – 24°C, начальная концентрация сухих веществ в жидком материале – 5%; конечная концентрация сухих веществ в сухом защитном

материале – 90%; скорость движения сушильного агента не должна превышать 2,9 м/с для исключения уноса, температура сушильного агента должна составлять 35°C, продолжительность сушки – 12 минут;

- удельный выход итогового материала будет составлять $Y_{max} = 75,5 \text{ кг/}(\text{м}^3 \cdot \text{час})$.

4. Экспериментально изучены и проанализированы кинетические закономерности процессов формирования курдючного штранга, насыщения его копильными компонентами и последующего гранулирования, а также конвективной сушки гранулированного продукта, как двухслойного материала.

5. Решены численные математические модели процедур формирования штранга и конвективной сушки поверхностного слоя гранулированного продукта посредством разработанного программного обеспечения для расчета скоростных и температурных полей и даны рекомендации по применению полученных результатов при расчетных процедурах проектирования операций переработки подобных субстанций.

6. На базе анализа результатов осуществленных исследований рекомендованы рациональные конструкторские решения для реализации предлагаемой технологии и даны рекомендации по их промышленному использованию.

В качестве заключения хотелось бы отметить, что разработанные и выявленные режимные параметры, а также конструкторские решения можно обосновано применять в инженерной практике не только для объекта исследования, но и подобных продуктов, которые можно перерабатывать посредством реализации разработанной технологии.

Список публикаций по теме диссертации:

Статьи в научных изданиях, индексируемых в БД Scopus

1. Alexanyan, I.Y.U. Experimental determination of physico-chemical and disperse characteristics and thermal parameters of sheep tail fat / I.Y.U. Alexanyan, A.H.-H. Nugmanov, L.M. Titova, **N.D. Aysungurov**, V.N. Orobinskaya, E.V. Galdin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference "Advanced Technologies in Agriculture and Food Processing", TAFP 2021" 2021. С. 012017. doi: 10.1088/1755-1315/941/1/012017.

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ

2. Эльмурзаев, А.А. Исследование и анализы варьирования теплофизических характеристик копченого измельченного бараньего курдючного жира и теплообменных параметров при процедуре обезвоживания гранул с защитной пленкой / А.А. Эльмурзаев, **Н.Д. Айсунгуров**, И.Ю. Алексанян, А.Х.Х. Нугманов, Ю.А. Максименко // Современная наука и инновации. – 2021. – № 3 (35). – С. 114-125.

3. Эльмурзаев, А.А. Оригинальная методика экспериментального нахождения коэффициента динамической вязкости для высоковязких сред и его определение для бараньего курдючного жира / А.А. Эльмурзаев, **Н.Д. Айсунгуров**, И.Ю. Алексанян, С.Д. Руднев, А.Х.Х. Нугманов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2021. – № 3 (49). – С. 38-48.

4. **Айсунгуров, Н.Д.** Моделирование кинетических закономерностей трансфера фронта скоростей в курдючном полуфабрикате по диаметру фильеры в процессе его формирования / Н.Д. Айсунгуров, А.А. Эльмурзаев, А.Х.Х. Нугманов, И.Ю. Алексанян // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 3. – С. 177-183.

Работы, опубликованные в материалах международных и российских конференций, сборниках научных трудов

5. **Айсунгуров, Н.Д.** Перспективы переработки сырья, с диверсификацией направлений получения продуктов / Н.Д. Айсунгуров, А.А. Эльмурзаев // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика: материалы Международной научно-практической онлайн-конференции, приуроченной к 60-ти летию член-корреспондента Академии наук ЧР, доктора технических наук, профессора Сайд-Альви Юсуповича Муртазаева (Грозный, 28 апреля 2021 года) / Грозный: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (Грозный), 2021. – С. 111-115.
6. **Айсунгуров, Н.Д.** Некоторые аспекты в исследовании теплообменных процессов пищевого сырья / Н.Д. Айсунгуров, В.А. Лебедев, Г.С. Мещерякова // Инновационный дискурс развития современной науки: материалы VI Международной научно-практической конференции (Петрозаводск, 28 июня 2021 года) / Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. – С. 116-120.
7. Золотовская, О.В. Анализ существующих установок для копчения продуктов животного происхождения / О.В. Золотовская, **Н.Д. Айсунгуров**, А.Х.Х. Нугманов // Интернаука. – 2021. – № 26 (202). – С. 30-34.
8. Золотовская, О.В. Анализ существующих способов копчения продуктов животного происхождения / О.В. Золотовская, **Н.Д. Айсунгуров**, И.Ю. Алексанян // Интернаука. – 2021. – № 26 (202). – С. 35-37.
9. **Айсунгуров, Н.Д.** Выбор защитного биопокрытия для гранулированного курдючного сала / Н.Д. Айсунгуров, О.В. Золотовская, А.Х.Х. Нугманов // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: материалы Международной научно-практической конференции (Уфа, 17 октября 2021 года) / Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Омега Сайнс», 2021. – С. 19-22.
10. **Айсунгуров, Н.Д.** Перспективный способ поверхностной обработки гранул биополимерным покрытием // Н.Д. Айсунгуров, О.В. Золотовская, А.Х.Х. Нугманов // Стимулирование научно-технического потенциала общества в стратегическом периоде: материалы Международной научно-практической конференции (Киров, 19 октября 2021 года) / Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований». 2021. – С. 17-20.

Объекты интеллектуальной собственности

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021611624. Программа расчета гигроскопических параметров пищевой продукции и их термодинамический анализ / В.А. Лебедев, А.Х.-Х. Нугманов, Е.В. Фоменко, Г.С. Мещерякова, **Н.Д. Айсунгуров**, И.Ю. Алексанян. – № 2021610717; заявл. 26.01.2021; опубл. 02.02.2021.
12. Патент 207164 РФ, МПК F26B 15/02, F26B 17/18 / Роторная сушилка / И.Ю. Алексанян, А.Х.-Х. Нугманов, Л.М. Титова, **Н.Д. Айсунгуров**, А.А. Эльмурзаев, О.В. Золотовская, Ю.А. Максименко. Заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»). – №2021123545; заявл. 09.08.2021; опубл. 14.10.2021, Бюл. N 29.

Подписано в печать 19.04.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

(ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова")

Отдел полиграфии

Адрес университета и отдела полиграфии:

364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100